

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ  
ХАРЬКОВСКАЯ НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ ГОРОДСКОГО  
ХОЗЯЙСТВА

**С.М. Нубарян**

# **АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМ ТЕПЛОГАЗОСНАБЖЕНИЯ И ВЕНТИЛЯЦИИ**

**Краткий курс лекций**

(для студентов специальности 7.092108 – «Теплогазоснабжение и вентиляция»)

ХАРЬКОВ – ХНАГХ -2007

Нубарян С.М. Автоматизация систем теплогазоснабжения и вентиляции:  
Краткий курс лекций. - Харьков: ХНАГХ, 2007 – 147 с.

В курсе лекций изложены основные сведения необходимые при проектировании систем автоматизации объектов теплогазоснабжения в коммунальном хозяйстве и энергетике. Пособие включает четыре раздела, в которых отражены основы теории управления, правила построения схем автоматизации, а также рассматриваются некоторые технические средства автоматизации.

Данный курс предназначен для студентов специальности 7.092.108-ТГВ всех форм обучения.

Рекомендовано кафедрою експлуатації газових та теплових систем,  
протокол № 10 від 25.10.07

Рецензент: д-р техн. наук, проф. И.И. Капцов

© Нубарян С.М., ХНАГХ, 2007

## **Введение**

Автоматизация является высшей ступенью механизации производства и применяется в комплексе управления теплотехническими производственными процессами. Она открывает колоссальные возможности для повышения производительности труда, быстрого роста темпов развития производства, а также безопасности производственных процессов.

Автоматизация механизированного производства предполагает управление машинами, механизмами и установками, а также контроль за их действием и состоянием при помощи специальных устройств без участия человека или частичном его участии. Средствам автоматизации базируются на комплексе технических средств (КТС) от простейших приборов контроля и автоматов до современных управляющих вычислительных машин.

К настоящему времени автоматизация выделилась в самостоятельную отрасль науки и техники, в основе которой лежит теория автоматического управления, разработка автоматических систем регулирования и соответствующих технических средств.

В автоматизированном производстве человеку отводятся лишь задачи периодического воздействия на главные машины, механизмы и установки, определяющие нормальный ход технологического процесса, а также наблюдения за наиболее важными его параметрами по показаниям приборов.

Автоматизация тепловых процессов и установок осуществляется с помощью систем управления, выполняющих следующие основные функции:

- контроль (измерение) текущих значений параметров технологического процесса;
- технологическую сигнализацию о состоянии основного и вспомогательного оборудования;
- дистанционное управление машинами и механизмами на расстоянии;
- автоматическую защиту основного и вспомогательного оборудования от возможных повреждений в процессе эксплуатации;

- автоматическое непрерывное регулирование технологических процессов и управление основными и вспомогательными установками.

Отечественный и зарубежный опыт разработки и эксплуатации технологического оборудования систем теплогазоснабжения и вентиляции (ТГВ) показывает, что неперенным условием развития автоматизации является не только совершенствование КТС автоматизации, но и комплексный совместно с ним анализ режимов работы и регулирования самого технологического оборудования.

В развитии технико-экономических предпосылок внедрения и использования технических средств автоматизации можно выделить три характерных периода: начальный этап (использование локальных приборов и регуляторов), этап комплексной автоматизации (использования систем управления отдельными установками и процессами) и этап автоматизированных систем управления.

На начальном этапе механизации и автоматизации подлежали только те отдельные процессы и операции, управление которыми человек не мог осуществлять достаточно надёжно по причине несовершенства своих психофизических данных. При этом автоматизация затрагивала только стабилизацию параметров повышенной аварийной опасности (таких, как уровень воды и давление пара в котлах, частота вращения паровых турбин и т.д.).

В целом начальный этап был этапом автоматизации отдельных параметров технологических процессов. Применение автоматизации не носило массового характера, а объём применяемых технических средств был ничтожен, и их производство не являлось самостоятельной отраслью. Тем не менее, именно на этом этапе сформировались некоторые современные принципы построения низших уровней автоматизации и, в частности, основы современного дистанционного управления с использованием электрических, пневматических и гидравлических двигателей для привода запорно-регулирующей арматуры. Переход к такому управлению вызвал переход от

регуляторов прямого действия, использовавших для перемещения регулирующих органов энергию самой регулируемой среды, к более удобным в эксплуатации регуляторам косвенного действия.

Переход ко второму этапу - комплексной автоматизации производства – был обусловлен ростом производительности труда, укрупнением единичных мощностей агрегатов и установок и развитием материальной и научно-технической базы автоматизации. Теперь человек-оператор всё больше занимается умственным трудом, выполняя различные логические операции при пусках и остановках оборудования, при возникновении непредвиденных обстоятельств, предаварийных и аварийных ситуаций, а также оценивая состояние объекта, контролируя и резервируя работу автоматических систем.

На данном этапе формируются основы крупносерийного производства технических средств автоматизации, что привело к постепенному выделению этого производства в самостоятельную отрасль. Кроме того, развитие электронной техники и широкое использование электроэнергии стимулируют развитие на данном этапе электрических и электронных средств регулирования.

Третий (современный) этап развития автоматизации может быть определён как этап автоматизированных систем управления (АСУ), появление которых совпало с разработкой и распространением вычислительной техники. На данном этапе становится целесообразной автоматизация всё более сложных функций управления. Для этого понадобились автоматы высокого уровня, автоматы, способные осуществлять сложные вычислительные и логические операции, связанные с переработкой и преобразованием большого количества информации. Основой таких автоматов стали электронные вычислительные машины (ЭВМ) и микропроцессорная техника, которые на сегодняшний день, дополненные средствами связи с объектом управления, стали неотъемлемой частью современных автоматизированных систем управления.

## 1. Общие сведения об автоматизации объектов

### 1.1. Классификация систем автоматизации

При автоматизации объектов часто приходится решать функционально различные задачи, которые возлагаются на отдельные подсистемы, входящие в общую схему автоматизации объектов. Системы автоматизации функционально могут быть разделены на три класса: информационные, управляющие и защитные.

К информационным системам относятся подсистемы контроля и сигнализации; к управляющим – системы автоматического регулирования (САР), системы автоматического управления (САУ) и автоматизированные системы управления (АСУ); к защитным – подсистемы блокировок и аварийных защит.

Классификация систем автоматизации представлена на рис. 1.1.

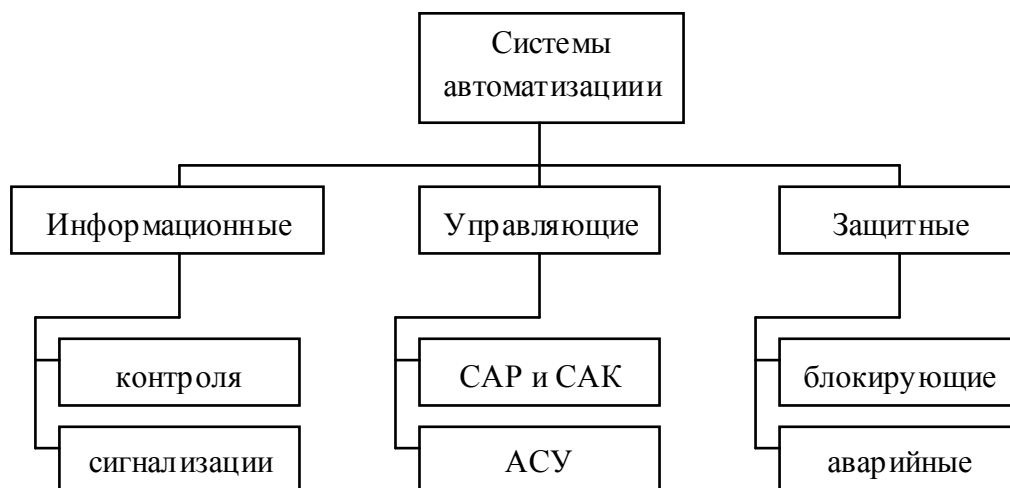


Рис. 1.1 – Классификация систем автоматизации

Подсистемы автоматизации выполняют следующие функции:

*Подсистема контроля* обеспечивает получение количественных (измерения) и качественных (индикация) показателей автоматизированного объекта при помощи контрольно-измерительных приборов (КИП).

*Подсистема сигнализации* использует те же технические средства, что и подсистема контроля. Но отличается она формой представления информации в виде соответствующего светового, звукового или другого вида сигнала.

Функционально системы сигнализации можно подразделить на командные, контрольные, предупредительные и аварийные.

Основное требование к информационным системам – достаточная информативность, а также передача информации без искажений и задержек.

К классу управляющих систем относят подсистемы автоматизации, которые на основе полученной информации воздействуют на объект управления.

Системы автоматического регулирования (САР) предназначены для поддержания постоянной или изменения по заданному закону некоторой управляемой величины. Системы автоматического управления (САУ) осуществляют совокупность воздействия на объект, выбранных из множества возможных воздействий, направленных на достижение определенного критерия управления. В общем случае САР и САУ могут строиться как на основе локальных средств автоматики (регуляторов), так и с применением вычислительной техники.

Автоматизированные системы управления (АСУ) осуществляют управление объектом совместными действиями технических устройств и человека с обязательным применением вычислительной техники. В этом случае технические устройства решают стандартные задачи управления, производят необходимые вычисления, а также обеспечивают информацией человека, который решает нестандартные задачи управления. Среди АСУ различают автоматизированные системы управления технологическими процессами АСУТП и системы управления производством АСУП, которые по своей сути могут быть отнесены к информационным системам.

Важную роль в технике играют защитные системы автоматизации. Системы этого класса работают только в автоматическом режиме и защищают объекты от недопустимых отклонений технологических параметров от нормы, а

также от возникновения аварийных ситуаций. При автоматической защите объектов различают объектные блокировки (блокирующие системы) и межобъектные блокировки (синхронизирующая защита). В результате срабатывания систем блокировок и защит прекращается доступ материальных и энергетических потоков к защищаемым объектам, либо включаются аварийные системы (пожаротушения, вентиляции и др.).

Уровень оснащения объектов различными системами автоматизации зависит от конкретных условий эксплуатации и нормативно-технических требований, определяющих минимально необходимый уровень автоматизации.

Уровень автоматизации любых технологических объектов может быть оценен с помощью коэффициента автоматизации в соответствии с выражением

$$K_a = \frac{\sum_{i=1}^n t_{a_i}}{\sum_{i=1}^n t_{a_i} + \sum_{j=1}^m t_{n_j}}, \quad (1.1)$$

где  $t_{a_i}$  – время  $i$ -го автоматизированного процесса объекта;

$t_{n_j}$  – время  $j$ -го неавтоматизированного процесса объекта;

$n, m$  – число автоматизированных и неавтоматизированных процессов, соответственно.

Если  $K_a = 1$  – объект полностью автоматический;

$0,5 \leq K_a < 1$  – объект автоматизированный;

$K_a < 0,5$  – низкий уровень автоматизации (управление объектом приближается к ручному).



## 1.2. Системы ТГВ как объекты автоматизации

Системы теплогазоснабжения и вентиляции – крупнейшие потребители топлива и электрической энергии. Обычно 30% добываемого топлива тратится на производство низкопотенциальной теплоты; 10% получаемой электроэнергии идет на привод насосов и вентиляторов общепромышленного назначения. Поэтому роль автоматизации, позволяющей экономить энергоресурсы, огромна и первостепенна.

Важной особенностью систем теплогазоснабжения является их большая протяженность, что усложняет их автоматизацию для обеспечения непрерывных и взаимосвязанных режимов функционирования отдельных звеньев системы. Это требует использования достаточно сложных комплексов на основе систем телемеханики и диспетчеризации, обеспечивающих надежное функционирование системы в целом.

Многие системы ТГВ являются неотъемлемой частью оборудования технологических процессов. Например, местные отсосы в станках; системы кондиционирования воздуха (СКВ) связаны с технологией производства микроэлектроники и медицинских препаратов; системы газоснабжения – с газосжигающим оборудованием (печи, котлы и т.д.).

В то же время специфика технологических процессов в отдельных элементах систем ТГВ часто характеризуется относительно невысокими требованиями к регулированию отдельных параметров (например, температуры воздуха -  $\pm 2^{\circ}$ , влажности -  $\pm 10-20\%$ ), что позволяет использовать простые и недорогие технические средства автоматизации, а иногда и отказаться от них совсем за счет способности некоторых объектов к саморегулированию.

Целью управления для систем теплогазоснабжения в общем случае является обеспечение требуемого гидравлического и теплового режима, которые достигаются поддержанием заданных величин давления, расходов и температур в различных точках системы.

Построение систем автоматического управления для различных звеньев системы теплогазоснабжения и исследование процессов, проходящих в них, базируется на теории автоматического управления, которая позволяет рассмотреть систему "объект - управляющее устройство" и определить оптимальные ее параметры.

В настоящее время системы ТГВ широко распространены в промышленности и коммунальном хозяйстве, поэтому во главу угла становятся и вопросы эксплуатации КТС автоматизации этих систем, т.к. эксплуатация их часто происходит при неблагоприятных условиях внешней среды и нерегулярном обслуживании. Кроме того, в некоторых случаях имеет место недостаточная квалификация обслуживающего персонала не в полной мере отвечающая требованиям, которые предъявляют современные устройства автоматики, что является известным препятствием к их широкому внедрению. Поэтому на разработчиков систем автоматизации ложится дополнительная задача при их создании, связанная с обеспечением максимальной простоты и надежности КТС автоматизации.

Большинство процессов, автоматизируемых в системах ТГВ можно отнести к двум категориям: 1 - непрерывные процессы и 2 - дискретные процессы, состоящие из отдельных операций.

К первой категории относят физические (тепловые и гидроаэродинамические), химические и процессы, в которых контролируемые и управляющие переменные изменяются во времени непрерывно. Математической моделью таких процессов являются дифференциальные, обычные алгебраические уравнения и их системы.

В процессах второй категории управляющие воздействия реализуются в строго определенной последовательности в зависимости от исполнения предыдущей команды. Это операции типа «открыть - закрыть», «включить - выключить», «больше – меньше», реализуемые в процессах пуска и останова механизмов и агрегатов, насосов, турбин в некоторых технологических процессах. Математической моделью в данном случае являются логические

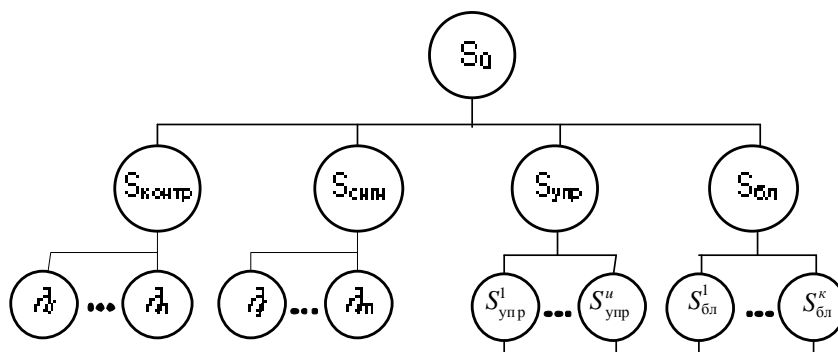
уравнения алгебры Буля и матрицы последовательности технологических операций.

Проектирование систем ТГВ и их автоматизации в общем случае должны представлять два взаимно дополняющих процесса и их необходимо выполнять только во взаимосвязи. При правильном решении этих задач применение автоматизации приведет только лишь к улучшению функционирования объектов ТГВ.

### 1.3. Постановка задач автоматизации

При проектировании систем автоматизации любых технологических объектов первоочередным является глубокое изучение технологических процессов, проводимых в рассматриваемых объектах автоматизации. Это позволит на основе системного анализа корректно сформулировать требуемые задачи контроля и управления, направленные на достижение поставленных целей.

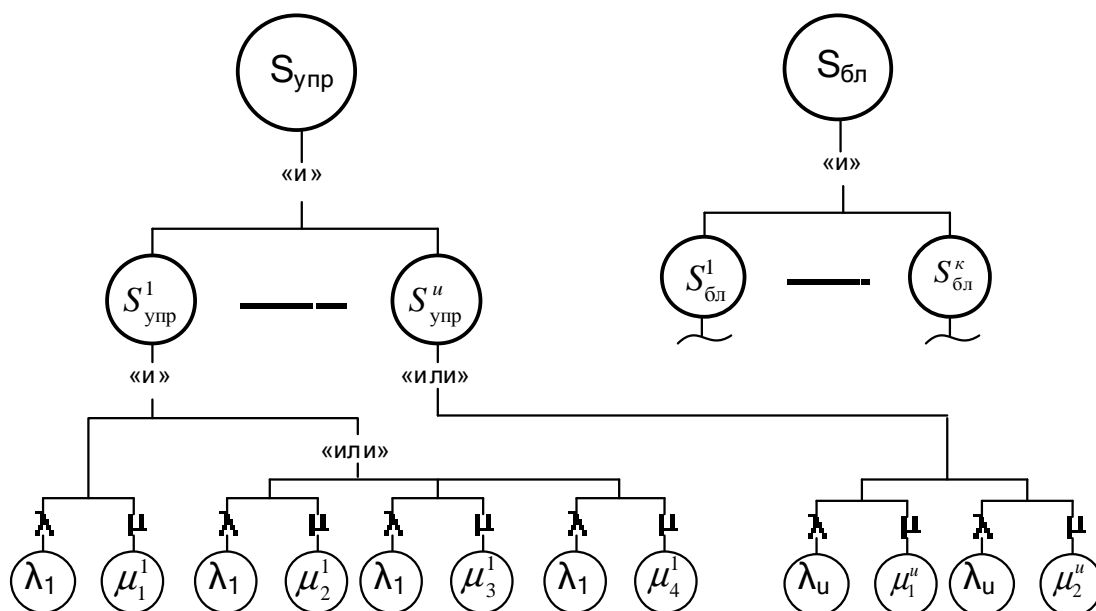
В общем случае, любая задача автоматизации состоит из подзадач контроля и сигнализации, управления и блокировок, решение которых основывается на их декомпозиции до уровня параметров состояния. Схема декомпозиции общей задачи автоматизации схематично показана на рис. 1.2.



**Рис. 1.2 – Декомпозиция общей задачи автоматизации**

Контролируемые параметры  $\lambda_i$  и параметры сигнализации  $\lambda_j$  в общей задаче автоматизации определяются необходимостью получения той или иной текущей информации об объекте, а также отклонения измеряемых параметров от нормы. Количество этих параметров обусловлено технологическим регламентом и должно обеспечивать требуемую информативность о состоянии объекта.

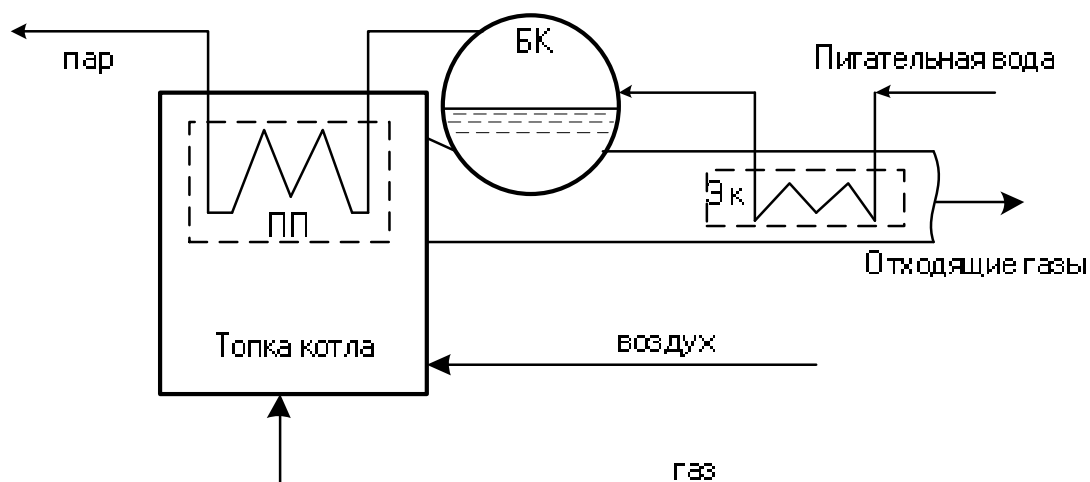
Для управления и блокировки технологическим объектом может быть выделено некоторое количество подзадач  $S_{\text{оу}}^u$  и  $S_{\text{дб}}^{\hat{e}}$ , обусловленное количеством управляемых или блокировочных параметров. Эти подзадачи должны пройти дальнейшую декомпозицию до уровня элементарных параметров состояния объекта, из которых после анализа должны быть определены альтернативные пары среди технологических параметров «управляемый параметр ( $\lambda$ ) – управляющий параметр ( $\mu$ )». На рис. 1.3 приведена логическая схема дерева этапов декомпозиции подзадачи управления.



**Рис. 1.3 – Декомпозиция задачи управления до уровня параметров состояния**

В соответствии с приведенной схемой каждая подзадача управления сводится к управлению каким либо одним технологическим параметром  $\lambda_i$  ( $i=1,u$ ) путем изменения соответствующего управляющего воздействия  $\mu_i$ <sup>1</sup>. При этом, если среди множества параметров существуют альтернативные пары  $\lambda$ - $\mu$ , объединенные оператором «или», необходимо выбрать только лишь ту, которая наиболее эффективна для достижения поставленной цели управления. Связь элементов декомпозиции логического дерева оператором «и» означает обязательное их наличие в составе задач управления при автоматизации объекта.

Рассмотрим на примере простейшей автоматизации парового котла, схема которого приведена на рис. 1.4, постановку задачи автоматизации и ее декомпозицию.



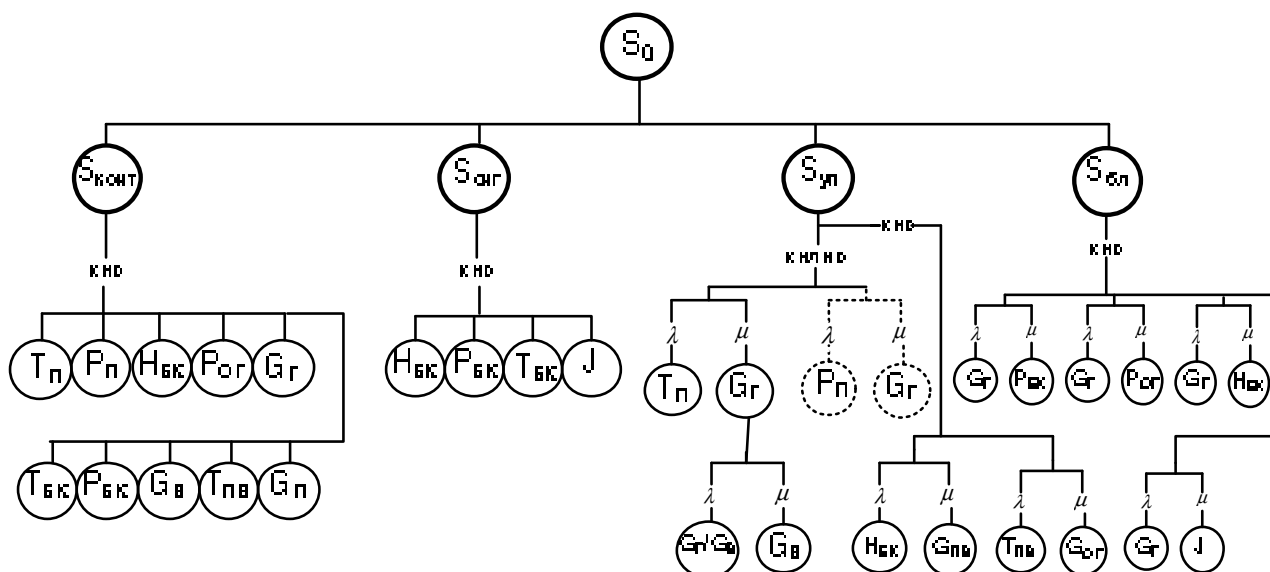
**Рис. 1.4 – Упрощенная схема парового котла:**

БК- барабан котла; ПП- пароперегреватель; Эк- экономайзер.

Обозначим соответственно технологические параметры: G- расход; T- температура; P-давление; H-уровень; J- наличие пламени в топке, а технологические потоки индексами П- пар; Г- газ; В- воздух; ПВ- питательная вода; ОГ- отходящие газы.

<sup>1</sup> на практике для многих объектов управления в качестве управляющих воздействий используется изменение величины материальных и энергетических потоков

Тогда логическое дерево декомпозиции задачи автоматизации парового котла может быть представлено схемой, приведенной на рис. 1.5.



**Рис. 1.5 – Декомпозиция задачи автоматизации парового котла**

Как видно из рис.1.5, в примере простейшей автоматизации парового котла в подзадачу контроля включено контроль десяти технологических параметров, в подзадачу сигнализации – четырех. Подзадача управления включает в себя регулирование двумя параметрами (уровень воды в барабане котла и температура питательной воды), а также две альтернативные пары, определяющие регулирование температуры и давления пара путем изменения расхода газа в топку котла. Однако анализ процессов, происходящих в барабане котла, показывает, что регулирование температуры пара является более эффективным и технически целесообразным, т.к. в дальнейшем пар поступает в перегреватель, где его температура является определяющим параметром. Давление же пара в данном случае оказывается целесообразным «перенести» в подзадачу защитных блокировок, заключающуюся в прекращении подачи газа в топку котла. Срабатывание защитной блокировки предусматривается также еще по трем параметрам – снижению уровня воды в барабане котла, погасании пламени в топке и снижении разряжения в ней.

## 2. Технические средства автоматизации

При автоматизации технологических объектов используются всевозможные средства для автоматизации. К таким техническим средствам относятся:

- датчики и контрольно-измерительные приборы<sup>2</sup>;
- усилительно-преобразующие устройства;
- задающие устройства;
- исполнительные механизмы и регулирующие органы;
- автоматические регуляторы;
- микропроцессорные устройства и вычислительная техника.

Проектирование систем автоматизации предполагает использование указанных технических средств. При этом для оптимального их выбора необходимо руководствоваться особенностями технологических процессов, постановками задач автоматизации, а также критериями высокой надежности, экономичности, безопасности, эргономичности и т.д.

### 2.1. Усилительно-преобразующие устройства

Усилительно-преобразовательное устройство (усилитель  $U$ ) служит для увеличения мощности измерительного сигнала путем открытия доступа в канал управления (регулирования) энергии от постороннего источника.

Основной статической характеристикой усилителя является коэффициент усиления по мощности  $K_N = N_2/N_1$  - отношение мощностей выходного и входного сигналов. В зависимости от устройства и принципа действия усилителя  $K_N$  может колебаться от 10 до  $10^8$  и более, причем верхний предел характерен для электронных усилителей. Выходные мощности могут достигать до десятка и более киловатт, но электрические усилители имеют ограниченную мощность, связанную с резким возрастанием габаритов исполнительных устройств.

---

<sup>2</sup>

Данный вопрос подробно рассматривается в отдельном курсе «Теплотехнические измерения и приборы».

Усилители различают по виду энергоносителя, по выходной мощности, коэффициенту усиления (преобразования), по статической характеристике (линейные и нелинейные). Основная классификация предполагает разделение по виду энергоносителя на гидравлические, пневматические, электрические, электронные и комбинированные. На приведенных схемах  $x$  - входной сигнал,  $y$  - выходной.

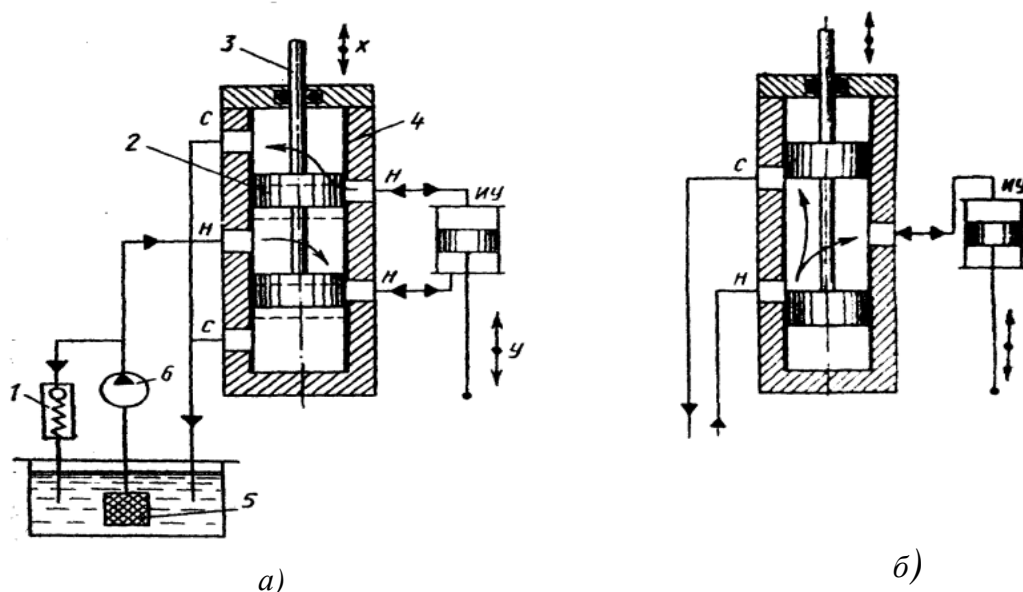
### 2.1.1. Гидравлические усилители

В гидравлических усилителях в качестве энергоносителей используются жидкости, не меняющие своих физико-химических свойств во время эксплуатации. Такими жидкостями могут быть вода, минеральные и синтетические масла керосин, спирто- глицериновые смеси и т.п. Жидкие энергоносители должны обладать неизменной вязкостью в широком интервале температур, низкой температурой замерзания и неагрессивностью по отношению к материалам из которых изготовлены усилители, а также не иметь способности к растворению газов и пенообразованию. Дополнительными требованиями к рабочим жидкостям являются пожаро- и взрывобезопасность, безвредность для здоровья людей, низкая стоимость.

**Золотниковые гидроусилители** представляют собой миниатюрные устройства типа *поршень - цилиндр*, отличающиеся простотой конструкции и высокой надежностью. В состав гидравлического усилителя входят золотник и поршневой исполнительный механизм (ИУ). Золотник может быть отсечного типа и проточного, схемы которых приведены на рис. 2.1- а и б.

В обоих случаях он состоит из гильзы 4 с рядом отверстий, внутри которой передвигается плунжер 3 с буртиками 2, изменяющий направление движения жидкости от источника энергии насоса 6 или напорного гидропровода к исполнительному механизму. При использовании насосного привода жидкость поступает из гидравлического резервуара через фильтр 5, кроме того, насосный блок оснащен редукционным клапаном 1, установленным в линии нагнетания.





**Рис. 2.1 – Типы золотников гидравлических усилителей:**

а- отсечной; б- проточный

Движение плунжера осуществляется под воздействием  $x$  датчика, которое подлежит усилению и преобразованию. При отсутствии воздействия плунжер находится в нейтральном положении, отверстия перекрыты и жидкость остается в центральной полости. Наличие сдвоенных буртиков позволяет разгрузить устройство от давления энергоносителя, равнодействующая давления будет равна нулю, плунжер легко перемещается от незначительного усилия датчика.

При перемещении плунжера вниз (показано пунктиром) открываются напорные окна Н, жидкость поступает в напорную полость исполнительного устройства ИУ, а из другой полости уходит через сливные отверстия С. Скорость перемещения поршня зависит от степени открытия напорных отверстий, причем закономерность ее изменения может быть задана соответствующим профилированием этих отверстий. В отсечном золотнике при нейтральном положении плунжера жидкость через золотник не проходит, а через проточный - непрерывно циркулирует. В зависимости от положения плунжера меняется расход энергоносителя (до минимума), и поршень сервомотора, перемещаясь под его давлением (ход вниз) либо под действием возвратной пружины, выталкивает жидкость на слив (ход вверх).

Гидроусилитель со *струйной трубкой* приведен на рис. 2.2. Работа его основана на принципе преобразования динамического давления струи рабочей жидкости, вытекающей из сопла трубки 2, в статическое давление ее в приемных каналах диффузорной формы 3. Трубка поворачивается в шарнире  $O$  под действием усилия от датчика 1, направляя струю в соответствующий канал, соединенный с полостью сервомотора. Из другой полости жидкость через канал попадает в корпус усилителя и далее на слив.

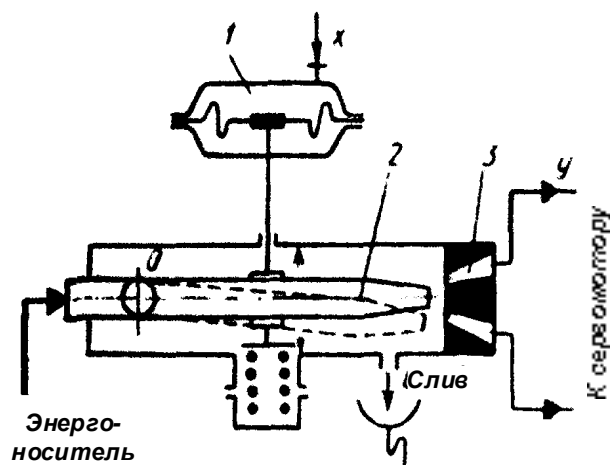
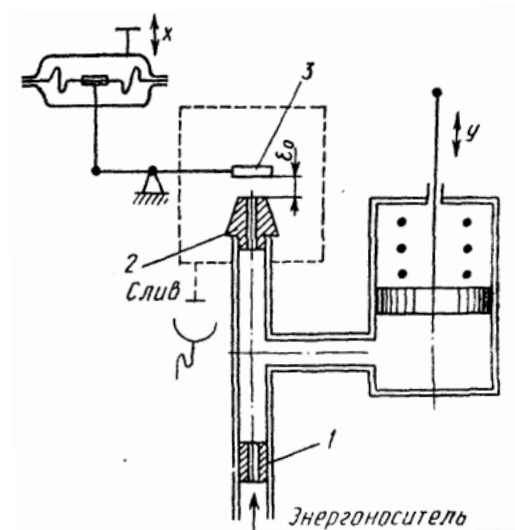


Рис. 2.2 – Гидроусилитель со струйной трубкой

В нейтральном положении давление перераспределяется между каналами равномерно, и система находится в равновесном состоянии.

Гидроусилитель с дросселем переменного сечения (*усилитель типа сопло - заслонка*) получил широкое распространение в системах ТГВ, схема которого приведена на рис. 2.3.

Устройство включает дроссели постоянного 1 и переменного сопротивлений, меняющихся при смещении заслонки 3 относительно сопла 2. При изменении положения заслонки ( $\varepsilon < \varepsilon_0$ ) давление увеличивается, и жидкость подается под поршень сервомотора. С отходом заслонки от сопла увеличивается слив жидкости, давление в магистрали падает, и сервомотор под действием пружины осуществляет обратный ход.

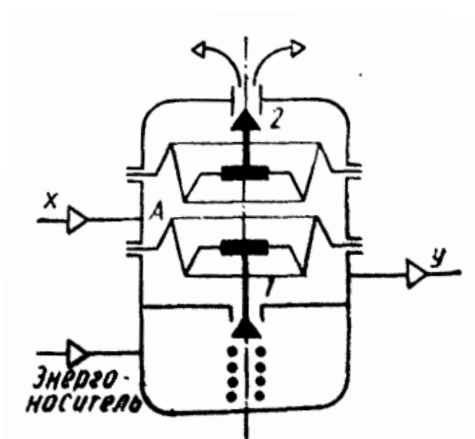


**Рис. 2.3 – Гидравлический усилитель типа «сопло-заслонка»**

Отличительной особенностью усилителей этого типа является наличие только одной магистрали, соединяющей источник энергии с сервомотором.

### **2.1.2. Пневматические усилители**

Особенности использования воздуха и других газов в качестве энергоносителей - возможность их сжатия, малые плотность и давление, трение без смазочного материала в механизмах накладывают свой отпечаток на устройство пневмоусилителей. Пневматические усилители в основном используются во взрыво- и пожароопасных объектах. Наиболее часто применяется усилитель типа «сопло – заслонка», особенно в пневмоавтоматике газоснабжающих систем и котельной. В пневмоусилителях других видов обычно используются следующие конструктивные элементы: пневмосопротивления, мембраны (одиночные и собранные в пакеты) и пневмокамеры. На рис. 2.4 показан простейший усилитель универсальной системы элементов промышленной пневмоавтоматики (УСЭППА), входящей в ГСП.



**Рис. 2.4 – Схема  
пневматического усилителя  
системы УСЭПА**

Измерение сигнала  $x$  производится в мембранной камере А. При его изменении открываются (закрываются) клапаны 1 (пневмосопротивления) или 2 (сброса в атмосферу). Например, при увеличении  $x$  закрывается 2, открывается 1 и энергоноситель, заполняя выходную линию, формирует сигнал  $y$ , передаваемый сервомотору. В настоящее время широко применяются элементы струйной автоматики, которую, по аналогии с

электроникой, называют пневмоникой. Пневмоусилители присоединяют к автономному источнику энергии, чаще всего к компрессорной установке или к магистрали сжатого воздуха или другого газа, в том числе и поступающего на газоснабжение.

### **2.1.3. Электрические усилители и реле**

Электрический усилитель повышает значения напряжения или тока. Чувствительностью усилителя  $S$  называют входной сигнал  $x_0$ , при котором выходной сигнал достигает номинального значения:  $S=x_0/K$ , где  $K$  - коэффициент усиления или преобразования. Среди электрических усилителей различают электромашинные, магнитные усилители и реле.

**Электромашинным** усилителем (ЭМУ) может служить обычный генератор постоянного тока с независимым возбуждением. Коэффициент усиления ЭМУ может достигать  $10^3...10^4$ , т.к. мощность возбуждения составляет несколько процентов от выходной мощности электрической машины. Принцип действия ЭМУ состоит в том, что сигнал изменения тока, подлежащего усилению, подается на обмотку возбуждения  $ОВ$  генератора (Г), приводимого во вращение электродвигателем. Это изменение вызывает в свою очередь

изменение магнитного потока генератора и электродвижущей силы (э.д.с.) в его якоре. На рис. 2.5, показана принципиальная схема ЭМУ и его статическая характеристика.

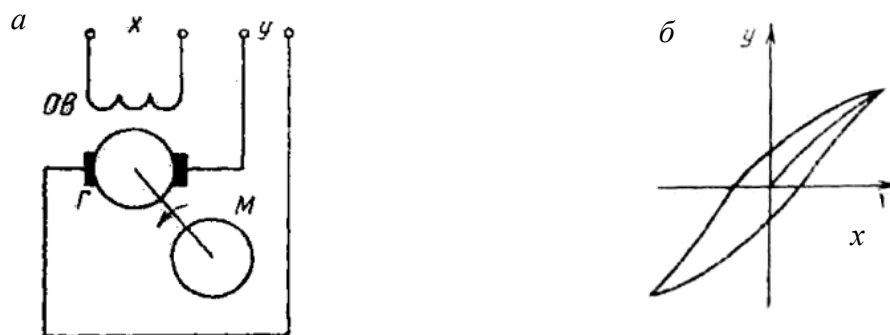


Рис. 2.5 – Принципиальная схема ЭМУ (а); статическая характеристика (б)

Принцип действия **магнитного** усилителя основан на свойстве ферромагнитных материалов уменьшать динамическую магнитную проницаемость магнитопровода (сердечника) для переменного тока при подмагничивании постоянным током. При этом снижается индуктивность обмоток  $L$  и увеличивается рабочий ток, определяемый в соответствии с формулой:

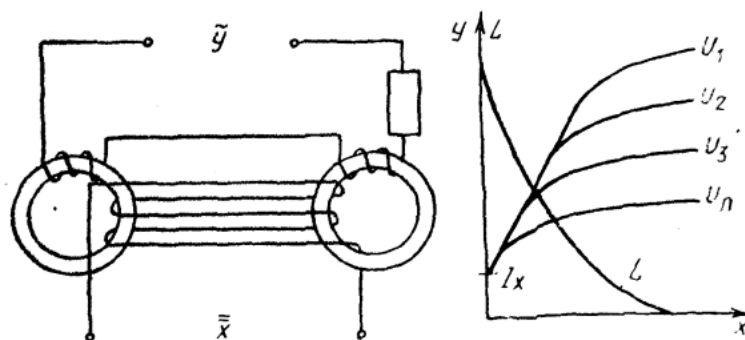
$$I = \frac{U}{\sqrt{(\omega L)^2 + R_H^2}},$$

где  $U$  – напряжение питания усилителя;

$R_H$  – активное сопротивление в цепи нагрузки;

$\omega = 2\pi f$  - частота переменного тока в цепи питания усилителя.

На рис. 2.6 показаны схема однотактного усилителя с тороидальным магнитопроводом с последовательным включением нагрузки и статическая характеристика  $y=f(x)$  с зависимостью  $L = f(x)$ .



**Рис. 2.6 – Схема однотактного магнитного усилителя**

Характеристики на рабочем участке близки к линейным ( $I_x$  - ток холостого хода) и имеют такую же форму во втором квадранте, т. е. эффект усиления не зависит от полярности сигнала.

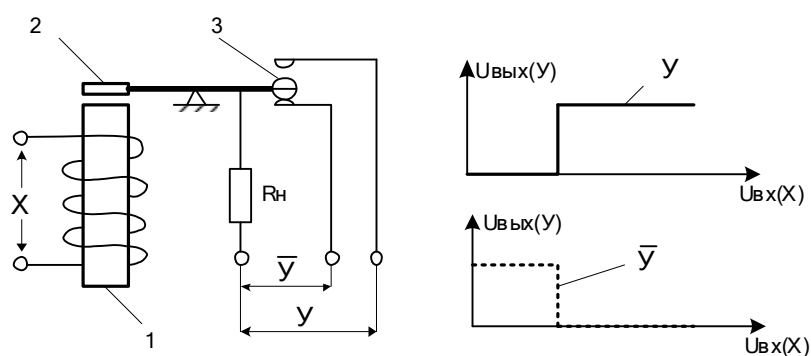
Характеристики на рабочем участке близки к линейным ( $I_x$  - ток холостого хода) и имеют такую же форму во втором квадранте, т. е. эффект усиления не зависит от полярности сигнала.

К достоинствам магнитных усилителей следует отнести высокие надежность, КПД, простоту обслуживания, взрыво- и пожаростойкость. Основным недостаток - сравнительно большая инерционность, поэтому во многих случаях целесообразна комбинация магнитного усилителя с другими типами усилителей.

Наряду с устройствами, осуществляющими непрерывную функциональную связь между входной и выходной величинами, в автоматике используют элементы, у которых непрерывному изменению входной величины соответствует скачкообразное изменение выходной. Такие элементы называются реле, а их статическая характеристика, имеющая скачкообразную, ступенчатую форму, - характеристикой релейного типа. В качестве примера релейного элемента может служить электромагнитное реле, схема и характеристика которого приведена на рис. 2.7.

Его конструктивными узлами являются электромагнитная катушка 1, на которую подается управляющий сигнал  $x$ , якорь 2, механически соединенный с контактной группой 3, которая осуществляет коммутирование (разъединение) вторичной цепи, формирующей выходной сигнал  $y$ .

Принцип действия реле позволяет малыми сигналами в первичной цепи управлять мощными токами по вторичной. Это дает возможность использования реле в качестве усилителя. В релейных элементах схем автоматики входной может быть и неэлектрическая величина, например температура, давление. Используются также пневматические, и гидравлические реле, имеющие характеристики ступенчатого вида.



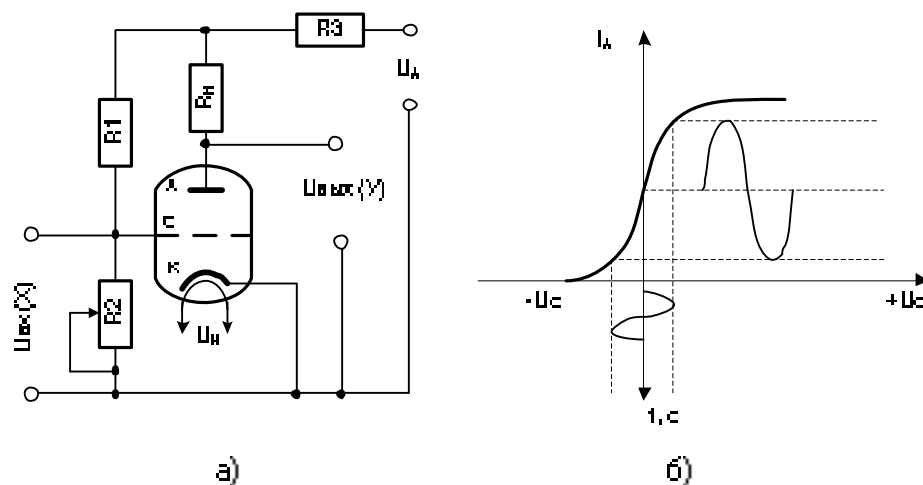
**Рис. 2.7 – Схема Электромагнитного реле и его характеристики**

## 2.1.4. Электронные усилители

Использование датчиков с маломощными выходными сигналами порядка нескольких микроватт требует применения электронных усилителей постоянного и переменного тока. Электронные усилители строятся на основе электронных ламп, транзисторов и других полупроводниковых элементах.

Рассмотрим принцип действия простейшего лампового усилителя, собранного на трехэлектродной лампе – триоде (см. рис. 2.8-а). Входной сигнал  $x$  от датчика подается на управляющую сетку через делитель  $R1-R2$ , образующий цепь смещения рабочей характеристики лампы. В анодную цепь лампы включены сопротивление нагрузки  $R_n$  и токоограничивающий резистор  $R3$ . Помимо этого электронные лампы имеют цепь накала, в которую подается напряжение  $U_n$ . Работа усилителя изображена графически в виде статической

анодно-сеточной характеристики  $I_A - U_C$  при  $U_A = \text{const}$ , изображенной на рис. 2.8-б.



## 2.8 – Электронный ламповый усилитель и его характеристика

Коэффициент усиления тем больше, чем больше крутизна статической характеристики усилителя. Для нормальной работы усилителя необходимо произвести смещение его рабочей точки (при помощи R2) в середину линейной части характеристики. Поскольку статическая характеристика усилителя имеет зону насыщения, то значительное увеличение коэффициента усиления за счет увеличения анодного напряжения может привести ее релейному типу.

Ламповые усилители имеют выходную мощность до 500 Вт и , находят разнообразное применение ввиду практической их безынерционности, большого входного сопротивления, широкого диапазона рабочих частот, стабильности характеристик по отношению к параметрам внешней среды, небольших массы и габаритов. К основным их недостаткам следует отнести относительно большие габариты, небольшую надежность и срок службы.

Новый этап в технике, в том числе и автоматике, наступил после изобретения полупроводникового триода - транзистора. Транзисторные усилители аналогичны ламповым и обладают простой конструкцией, небольшими размерами, долговечным, что позволило создать надежные, компактные автоматические устройства, потребляющие по сравнению с ламповыми в тысячи раз меньше энергии. В лампе анодным током управляет напряжение на сетке, а



в транзисторе током коллектора – ток эмиттера. Однако, существенным недостатком транзисторов является разброс параметров, зависящий от температуры.

В качестве полупроводниковых управляющих элементов используются также кремниевые управляемые вентили или тиристоры, предназначенные для токов до 100 А и напряжений до 800 В. По принципу действия тиристор аналогичен тиратрону и обладает малой мощностью сигнала управления, безынерционностью, большим сроком службы.

Полупроводниковые приборы весьма чувствительны к перегрузкам по напряжению и току. Допустимая пятикратная перегрузка, например, не должна длиться более 5 мс, поэтому в схемах используют специальные защитные приспособления.

В табл. 2.1 приведены сравнительные данные усилителей некоторых типов.

**Таблица 2.1. Характеристики различных усилителей**

Тип усилителя	Коэф. усиления	Выходная мощность, Вт	Динамическая постоянная времени, с
Гидравлический	$10^3 - 10^4$	$10^4$	$10^{-3} - 10^{-2}$
Магнитный	$10^2 - 10^6$	$10^6$	$10^{-2} - 1$
Электромашинный	10-104	$10^7$	$5 \cdot 10^{-2} - 1$
Ламповый	$10^3 - 10^{14}$	$10^2$	$10^{-8} - 10^{-2}$
Полупроводниковый	$10^2 - 10^6$	$10^2$	$10^{-3} - 10^{-2}$
Тиратронный	$10^3 - 10^6$	$10^4$	$10^{-4} - 10^{-1}$
Реле	$10^2 - 10^6$	$10^6$	$10^{-3} - 1$
Механический	До $10^3$	$10^3$	$10^{-3} - 1$

Функционирование усилителей ограничивается предельными значениями важнейших параметров (коэффициента усиления, выходной мощности, входных характеристик), поэтому одним усилителем не всегда удастся усилить сигнал. Кроме того, сигнал часто требуется преобразовать в иную форму для удобства использования в каналах управления. В связи с этим на практике часто используется каскадное усиление.

Под каскадом понимают отдельный этап усиления. Чаще всего многокаскадное усиление используется в электронных схемах. Например, для получения большой выходной мощности на выходе усилителя должна стоять мощная лампа или несколько ламп, на сетку которых необходимо подать

значительное напряжение. Датчик не обеспечивает усилитель такой схемы необходимым сигналом, поэтому его приходится усиливать в каскадах предварительного усиления. При комбинированном многокаскадном усилении последовательно соединяются усилители рассмотренных ранее типов в зависимости от конкретных требований к построению схемы автоматизации и свойств объектов.

Коэффициент усиления многокаскадных усилителей равен произведению коэффициентов усиления отдельных каскадов (ступеней):

$$K_N = \prod_{i=1}^n K_{Ni}$$

при этом коэффициент усиления таких каскадов может достигать достаточно больших значений.

## 2.2. Исполнительные устройства

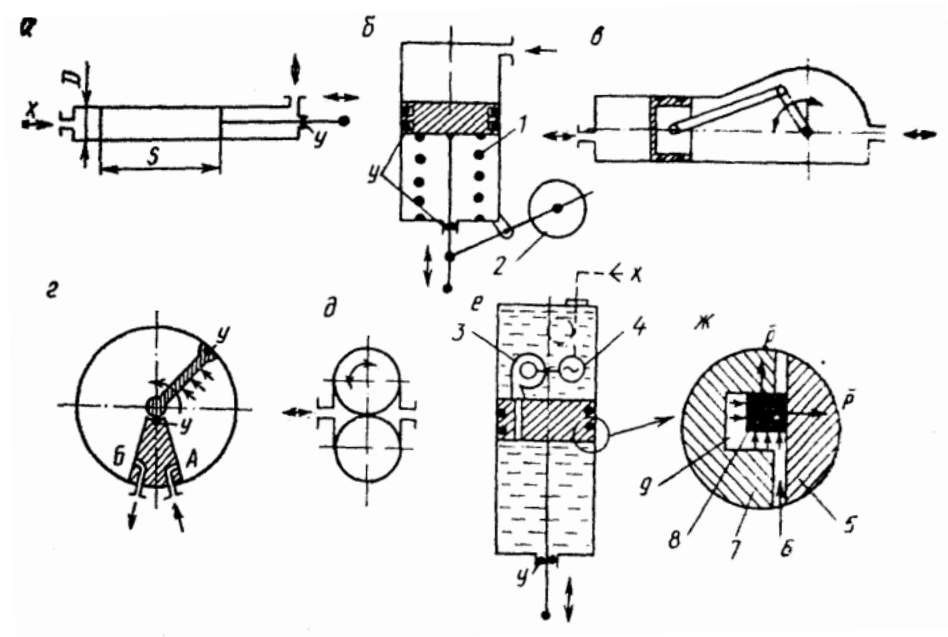
Исполнительные устройства (механизмы), или сервомоторы, получают сигнал от усилителя и формируют перестановочное усилие для привода в действие регулирующего органа. Базовый принцип классификации сервомотора - вид энергоносителя, в зависимости от которого они подразделяются на гидравлические, пневматические, электрические и комбинированные. По характеру перемещения рабочего органа бывают сервомоторы непрерывного и дискретного действия (открыто- закрыто), а также поступательного и вращательного движения. Основными характеристиками сервомоторов являются: коэффициент усиления по мощности, скорость (постоянная или переменная) и усилие (перемещение) на выходе. Конструктивно сервомотор часто представляет единый узел вместе с усилителем, в особенности в гидравлических и пневматических устройствах.

Требования к исполнительным устройствам: линейное (угловое) перемещение должно согласоваться с перемещением регулирующего органа; статическая характеристика должна быть по возможности линейной; сервомотор должен обладать реверсивностью, с рабочими органами минимальной массы;

мощность должна обеспечивать заданную скорость перемещения на любых режимах.

### **2.2.1 Гидравлические и пневматические исполнительные устройства**

Наибольшее распространение в технике получили поршневые, лопастные сервомоторы и гидромоторы, схемы которых приведены на рис. 2.9. Поршневые (плунжерные) подразделяются на сервомоторы двустороннего (двуполостные -рис. 2.9-а) и одностороннего (однополостные - рис. 2.9-б) действия. Обратное движение штока односторонних сервомоторов с переменной или постоянной скоростью осуществляется с помощью пружины 1 или противовеса 2. Для преобразования поступательного движения поршня во вращательное в сервомотор вводят кривошипно-шатунный механизм (см. рис. 2.9-в), что удобно для привода заслонок, кранов и т.д. Лопастные сервомоторы (рис. 2.9-г) позволяют получить непосредственно вращательное движение выходного вала, на котором закреплена лопасть, плотно подогнанная к соприкасающимся поверхностям корпуса. Давление рабочей жидкости в полости, например А, на боковую поверхность заставляет повернуться ее на определенный угол. Гидромоторы конструктивно не отличаются от насосов роторно-поршневого, аксиального и лопастного типов, обладающих свойством обратимости. В таком режиме может работать и зубчатый насос с зацеплением соответствующего профиля (см. рис. 2.9-д). насос с зацеплением соответствующего профиля. Разновидностью гидромотора является тростер, принцип действия которого виден из схемы, приведенной на рис. 2.9-е. Микронасос 3, установленный внутри цилиндра, попеременно перекачивает жидкость в соответствующую полость под воздействием электрического сигнала  $x$  на микроэлектродвигатель.



**Рис. 2.9 – Схемы гидравлических исполнительных устройств**

Важную роль в конструкциях гидравлических исполнительных устройств играют уплотнения, позволяющие свести до минимума утечки, отрицательно влияющие на функционирование систем автоматики. В качестве уплотнений  $У$  используют эластичные манжеты, резиновые уплотнительные кольца, сальники и поршневые кольца. На рис. 2.9- ж показан принцип действия поршневого кольца; по аналогии действует и кольцевое резиновое уплотнение. Эффект достигается за счет рабочего давления в самом цилиндре 5, которое в силу наличия зазора 6 действует на свободные поверхности кольца, и равнодействующие силы  $p$  прижимают кольцо к поверхностям цилиндра и выточке 9 в поршне 7.

Среди пневматических сервомоторов подавляющее большинство мембранного типа одно- и двуполостные с возвратом от пружин или противовеса, однако встречаются и сильфонные приводы для небольших перестановочных усилий. В настоящее время стали применяться поршневые исполнительные механизмы, однако для них основной проблемой является трение и уплотнения в пневмоцилиндрах.

### 2.2.2. Электрические исполнительные устройства

Среди электрических сервомоторов, получивших наибольшее распространение в автоматике, следует назвать электродвигатели и электромагниты.

По устройству и принципу действия электрические двигатели классифицируют на асинхронные, синхронные и коллекторные. Асинхронные и синхронные двигатели работают на переменном токе, коллекторные – на переменном или постоянном токе, а универсальные на переменном и постоянном токе. Асинхронные двигатели применяют для приводов с регулируемой и постоянной частотой вращения, синхронные - для приводов с постоянной частотой вращения. Двигатели постоянного тока широко используются для приводов с регулируемой частотой, коллекторные переменного тока - в системах, где требуется частота вращения, превышающая  $3000 \text{ мин}^{-1}$ , при промышленной частоте тока 50 Гц.

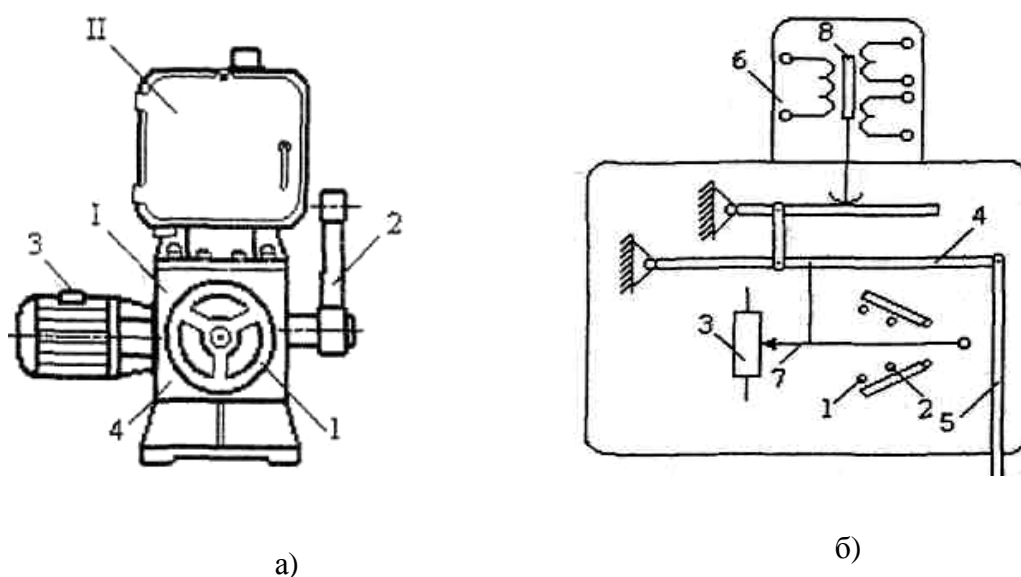
В качестве сервопривода применяют асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором (в виде беличьей клетки). Использование их в качестве сервомоторов определяет и соответствующие требования к ним в отношении реверсивности, изменения частоты вращения и устойчивости в широком диапазоне, линейности статической характеристики, большого пускового момента, самоторможения при снятии сигнала управления, быстродействия, малых габаритов и массы.

В зависимости от сочетания электродвигателя и регулирующего органа различают две основные структурные схемы электрических сервомоторов, определяющиеся степенью несоответствия быстроходности и вращательного движения сервомотора тихоходности и поступательному, иногда вращательному движению затвора регулирующего органа. Поэтому в конструкциях появляются дополнительные узлы: передачи (редукторы, муфты) различных типов, конечные выключатели для останова сервомотора по достижении затвором крайних или заданных положений, элементы обратной

связи. При неуправляемом или плохо управляемом двигателе управляющее воздействие  $y$  прикладывается к передаче, в противном же случае используют управляемые двигатели.

Долгое время большинство электродвигателей выпускались быстроходными, что создавало определенные трудности при подключении их к регулирующим органам. Появление моторов с малой скоростью вращения, например серии МЭО, которые совершают один оборот за 40, 100, 250 и 630 секунд, позволило значительно усовершенствовать технику автоматизации.

Конструкция электрического исполнительного механизма приведена на рис. 2.10-а, который состоит из электродвигательной части I (сервопривода) и колонки управления II, называемой блоком сервопривода, схема которого представлена на рис. 2.10-б.



**Рис. 2.10 - Электрический исполнительный механизм МЭО:**

а- конструкция ИМ; б - конструктивная схема блока сервопривода;

Сервопривод состоит из трёхфазного асинхронного реверсивного электродвигателя 3 с короткозамкнутым ротором. С вала двигателя момент вращения передаётся на редуктор 4, состоящий из двух ступеней червячной передачи. На выходном валу редуктора размещен рычаг 2, который с помощью штанги сочленяется с регулирующим органом. Вращая выдвижной маховик 1 при ручном управлении можно повернуть выходной вал редуктора без помощи

электродвигателя. При ручном управлении маховиком механическая передача от электродвигателя к выходному валу разъединяется.

Полный ход сервопривода соответствует повороту выходного вала на  $90^\circ$ . Время полного хода называется временем сервопривода (сервомотора).

Электрические сервоприводы выпускаются нескольких моделей с различной мощностью электродвигателя и временем сервомотора. Сервоприводы малой мощности серий РМ и РМБ (быстроходные) имеют мощность электродвигателя 0,15 - 0,25 кВт и развивают на выходном валу крутящий момент до 25 кгм. Сервоприводы большой мощности серии РБ развивают на выходном валу крутящий момент до 400 кгм.

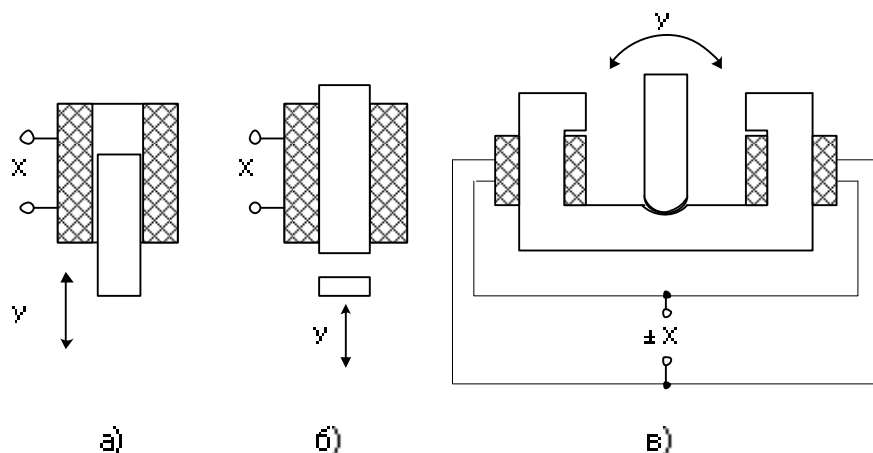
Время сервопривода для моделей РМ и РБ составляет 30-60 с, для модели РМБ -15 с.

В блоке сервопривода собраны аппараты и элементы, необходимые для управления исполнительным механизмом. Блок сервопривода выполнен в виде колонки, которая устанавливается на сервоприводе. Внутри корпуса колонки расположены (рис.2.10-б) концевые 1 и путевые 2 выключатели, потенциометрический преобразователь 3 для индикации положения регулирующего органа, цепи электрического питания потенциометрического датчика и рычаг 4, связанный с выключающей тягой 5. Сверху корпуса размещён дифференциально-трансформаторный преобразователь 6.

Перемещение выходного вала сервопривода передается через выключающую тягу движку 7 потенциометрического преобразователя и одновременно через систему рычагов сердечнику 8 дифференциально-трансформаторного преобразователя, предназначенного для получения сигнала переменного тока, пропорционального перемещению выходного вала сервопривода.

Электромагнитные приводы применяются для приведения в действие регулирующих органов с поступательным движением затвора – клапанов, задвижек, золотников. Электромагнитные сервомоторы работают в релейном режиме (открыто – закрыто). Среди них чаще всего используются

прямоходовой электромагнит с втягивающимся сердечником (соленоид), а также конструкции с притягивающимся или поворотным якорем. Схемы электромагнитных сервомоторов приведены на рис. 2.11.



**Рис. 2.11 – Электромагнитные приводы:**

а- соленоидный; б – с притягивающимся якорем; в – с поворотным якорем.

### 2.3. Регулирующие органы

Регулирующий орган (РО) - элемент в цепи воздействий, оказывающий непосредственное влияние на управляемый объект. Это воздействие может осуществляться изменением количества энергии (вещества), проходящего через объект, либо путем изменения характеристик (режима) объекта. В первом случае на объект влияют распределительные органы, во втором - регулирующие устройства. Функциональные и конструктивные признаки регулирующих органов зависят от вида рабочей среды (жидкость, газ, электроэнергия и т.п.) и назначения объекта. Как правило, распределительные органы конструктивно не связаны с объектом управления, а регулирующие устройства обычно являются его конструктивной частью.



### 2.3.1. Характеристики распределительных органов

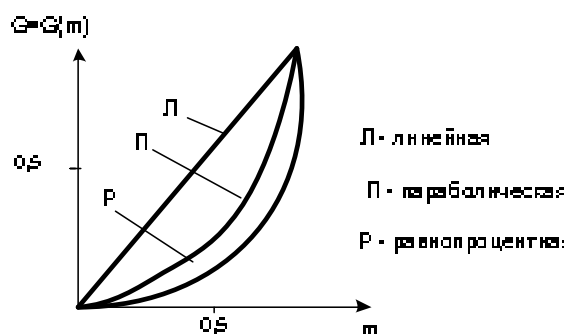
В функцию распределительных органов входит изменение расхода различных рабочих сред. Их называют дроссельно-регулирующей арматурой. По назначению она подразделяется на запорную, дроссельно-регулирующую, предохранительную и специальную. Дроссельными называют регулирующие органы, для которых характерно уменьшение перепада давлений, т.е. относительно большая потеря энергии среды. Распределительный орган перераспределяет потери давления в магистрали и в самом органе. Суммарные потери давления, оставаясь постоянными, подразделяются на различные составляющие в зависимости от степени открытия дроссели (расхода  $V$ ). Дроссельно-регулирующие органы представляют собой сложные местные сопротивления, в которых изменяется геометрии проходного сечения, параметры среды, режимы течения, появляется кавитация и др.

Основными характеристиками распределительных регулирующих органов являются:

- условный проход  $D_y$  - номинальный внутренний диаметр входного патрубка;
- условное давление  $P_y$  - наибольшее рабочее давление при заданных температуре рабочей среды и материале арматуры;
- условный ход  $S_y$  - ход затвора РО от полного открытия до полного закрытия (для поворотных РО - угол поворота  $\alpha_y$ );
- коэффициент местного сопротивления при полном открытии  $\xi$ ;
- степень открытия  $m$  - отношение текущего значения хода  $s$  или угла поворота  $\alpha$  к условному:  $m = S/S_y = \alpha/\alpha_y$ ;
- пропускная способность  $K$  - массовый расход жидкости с плотностью  $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$  при перепаде давления  $\Delta P = 0,1 \text{ МПа}$ ;
- расходная характеристика  $G=f(S)$  или  $G=f(m)$  - зависимость расхода от положения затвора регулирующего органа;

- конструктивная характеристика  $F=f(m)$  - зависимость площади проходного сечения от степени открытия, которая определяет форму расходной характеристики

На рис. 2.12 показаны типичные формы расходных характеристик.



**Рис. 2.12 – Расходные характеристики регулирующих органов**

Лучшими регулирующими органами являются органы, обладающие линейной и равнопроцентной характеристиками. В ряде случаев используется пропускная характеристика  $K=f(m)$ . При использовании конструктивной характеристики становится возможным профилирование регулирующего органа для получения требуемой расходной характеристики.

### 2.3.2. Основные типы распределительных органов

В зависимости от конструкции затвора РО принято классифицировать по характеру перемещения подвижных элементов затвора: на арматуру с перемещением затвора параллельно потоку (клапаны и золотники), перпендикулярно к потоку (шиберные задвижки), с вращением затвора (поворотные заслонки, краны) и со сжатием проходного канала (шланговые и диафрагмовые клапаны).

Регулирующие органы для многих объектов систем ТГВ можно разделить на три группы:

Регулирующие органы дроссельного типа, изменяющие расход среды за счёт изменения скорости и площади сечения потока при прохождении его через

дросселирующее устройство, гидравлическое сопротивление которого является переменной величиной (клапаны, заслонки и шиберы).

Регулирующие органы объёмного типа, изменяющие расход среды за счёт изменения её объёма (например, дозирующие устройства).

Регулирующие органы скоростного типа, изменяющие производительность регулирующего устройства за счёт скорости его вращения. К регулирующим органам этого типа относятся устройства регулирования частоты вращения первичных двигателей (паровых или электрических насосов, вентиляторов, дымососов и др.).

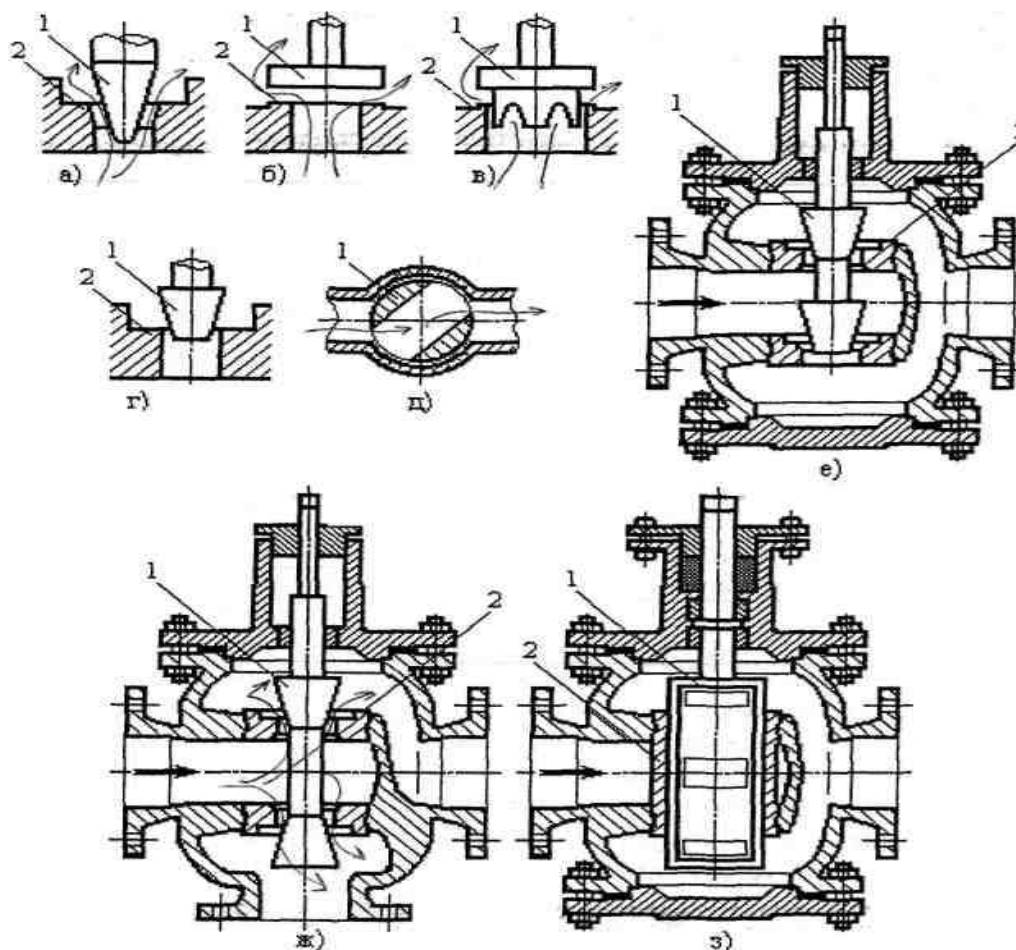
Действие регулирующего органа определяется статическими характеристиками: диапазоном регулирования и рабочей расходной характеристикой.

При разработке, выборе и отладке регулирующих органов стремятся получить достаточный диапазон регулирования для обеспечения возможности управления процессом при всех режимах и нагрузках агрегата и линейную рабочую характеристику в пределах этого диапазона.

Дроссельные регулирующие клапаны служат для изменения расходов жидкости, пара или газа, транспортируемых по трубопроводам.

Существует несколько конструктивных разновидностей клапанов, различающихся формами плунжера 1 и седла 2 (см. рис. 2.13).

В игольчатых и тарельчатых клапанах запирающая и дросселирующая поверхности выполняются плоскими или коническими. Тарельчатые клапаны изнашиваются быстрее и их рабочие характеристики меняются, поэтому эти клапаны применяют как запорные органы или при двухпозиционном регулировании. Для точного регулирования расходов применяют игольчатые клапаны.

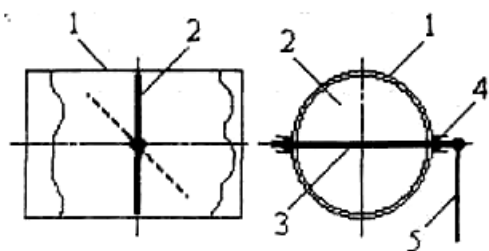


**Рис 2.13 – Разновидности регулирующих органов**

а - игольчатый; б - тарельчатый; в - золотниковый; г - плунжерный; д - шаровой;  
е - плунжерный двухседельный; ж - плунжерный трёхходовой;  
з - золотниковый поворотный; 1 - плунжер; 2 - седло.

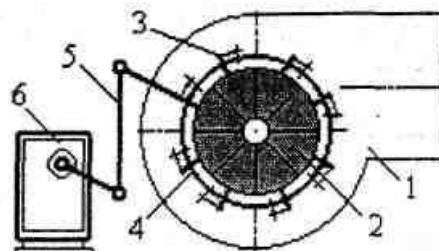
Форма рабочих поверхностей имеет большое значение для работы регулирующего органа. Она определяет характеристику регулирующего органа, т.е. зависимость расхода вещества через регулирующий орган от перемещения его затвора в рабочих условиях. У клапанов с гладкими рабочими поверхностями тарельчатого типа, как правило, характеристика линейная, т.е. пропускная способность клапана прямо пропорциональна ходу плунжера. У других клапанов характеристика может подчиняться математическим законам (каким-либо кривым - параболы, логарифмов и т.д.).

На рис.2.14 показан регулирующий орган, называемый поворотной регулирующей заслонкой. Заслонка представляет собой диск (для трубопровода круглого сечения), устанавливаемый в поперечном сечении трубопровода.



**Рис. 2.14 – Поворотная заслонка**

1 - трубопровод; 2 - диск; 3 - ось;  
4 - подшипник с сальниковым уплотнением;  
5 –рычаг.



**Рис. 2.15 – Направляющий аппарат  
вентилятора:**

1 - улитка; 2 - лопасть направляющего  
аппарата; 3 - ось лопасти с серьгой;  
4 - приводное кольцо; 5 - тяга;  
6 - исполнительный механизм.

Диск может поворачиваться вокруг оси, которая выводится из трубопровода через сальниковые уплотнители и опирается на подшипники.

Поворотные заслонки устанавливают в газоходах и трубопроводах как круглого, так и прямоугольного сечения. Достоинства поворотных регулирующих заслонок: простота конструкции, высокая надежность в работе, разгруженность затвора (диска) от статических давлений, так как давления на обе половины заслонки уравниваются. Поэтому для них используют исполнительные механизмы небольшой мощности. Недостатком поворотной заслонки является невозможность обеспечения стопроцентного её закрывания, т.к. для свободного вращения заслонки между внутренней поверхностью трубопровода и заслонкой оставляется зазор, величина которого может достигать нескольких миллиметров.

Поворотные заслонки обычно применяются в качестве запорно-регулирующей арматуры при небольших статических давлениях среды (кроме сред, из которых могут выделяться твёрдые частицы).

Вентиляторы и дымососы, предназначенные для котельных агрегатов, выпускаются со специальным направляющим аппаратом, позволяющим регулировать производительность агрегата.

Направляющий аппарат (см. рис.2.15) представляет собой многолопастное дроссельное устройство, устанавливаемое непосредственно во всасывающем патрубке машины. Направляющий аппарат дросселирует и одновременно закручивает поток в сторону вращения ротора вентилятора.

Лопасты 2 направляющего аппарата, выполненные в виде секторов круга, укреплены каждая на своей оси 3. Оси имеют выход за обечайку всасывающего патрубка. На выходные концы осей жестко посажены серьги, укрепленные с другой стороны к приводному кольцу 4. При повороте кольца вокруг всасывающего патрубка серьги будут увлечены в сторону вращения кольца и повернут оси, на которых укреплены лопасти. Таким образом, лопасти могут быть поставлены параллельно оси потока, или поперёк потока.

Для автоматического регулирования производительности агрегата к приводному кольцу подсоединяется тяга 5 электрического исполнительного механизма 6.

К аппаратуре распределения энергии можно отнести рубильники, пакетные выключатели, кнопочные выключатели. Их используют как в силовых электрических цепях, так и в цепях управления.

К аппаратуре защиты относятся плавкие предохранители, автоматические воздушные выключатели, тепловые реле, реле напряжения и т.п.

Плавкий предохранитель - это устройство в основном однократного действия, которое размыкает электрическую цепь путём расплавления плавкой вставки, нагреваемой током. Этот аппарат служит для защиты участка цепи или электрических установок от разрушающего действия токов короткого замыкания или от длительных перегрузок. В настоящее время изготавливается много разных по конструкции предохранителей, которые находят широкое применение в устройствах защиты.

## 2.4. Задающие устройства

Для расширения эксплуатационных возможностей управляющих устройств и регуляторов, а также задания исходного значения регулируемой переменной используются задающие устройства, или задатчики. Как указывалось ранее, задающее воздействие определяет характер алгоритма функционирования автоматической системы регулирования (АСР). Ввод задающего воздействия может осуществляться вручную, полуавтоматически (часовым механизмом) и с помощью вычислительной техники.

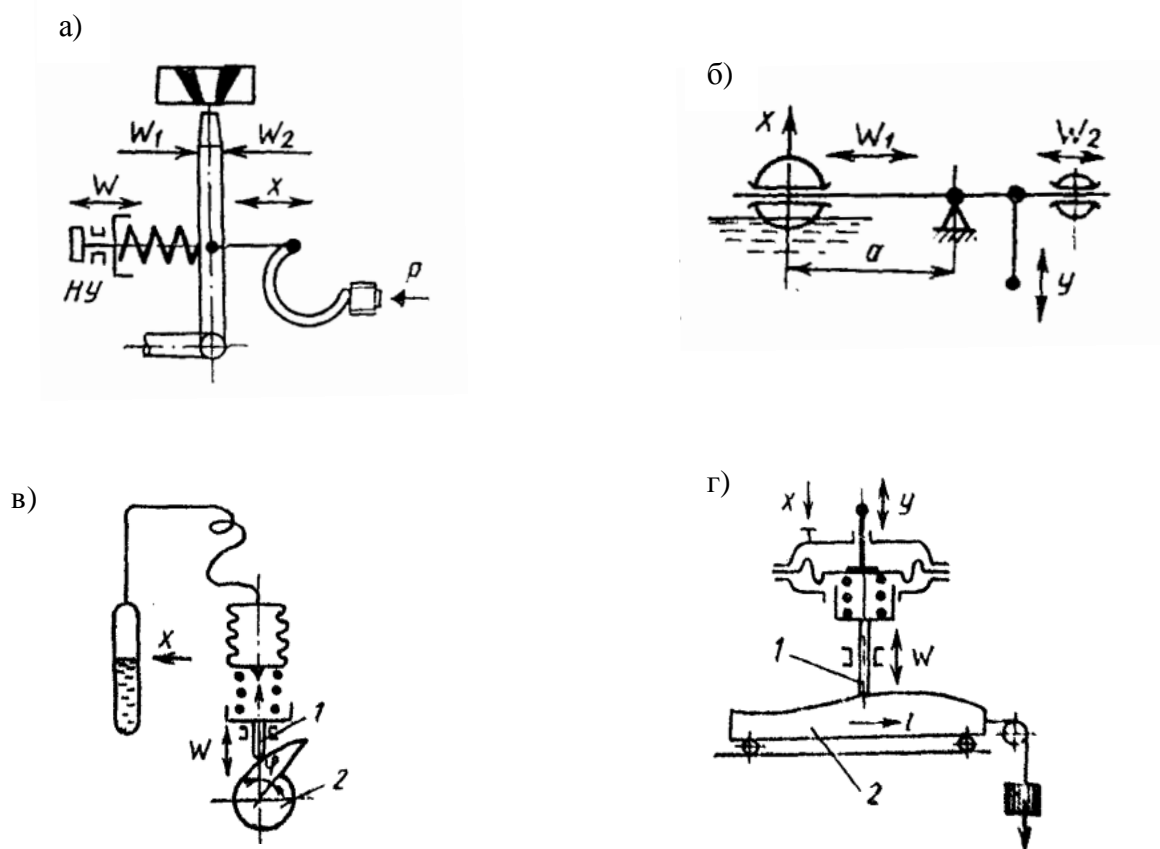
Тип задающего устройства определяется характером применяемого регулирующего устройства. Так, например, регуляторы-стабилизаторы характеризуются однократным вводом задающего воздействия за длительный промежуток времени функционирования регулируемого объекта. В случае программного управления объектом задающее воздействие вносится многократно в соответствии с требуемой функцией времени.

Задатчик формирует сигнал который сравнивается с сигналом, получаемым от датчика. Таким образом, вид сигнала задатчика определяется примененным в регуляторе датчиком. Чаще всего задатчик действует по принципу компенсации сил (перемещений) или электрических величин (реже пневматических и гидравлических).

На практике при автоматическом регулировании в основном применяются механические и электрические задатчики.

*Механические задатчики*, как правило, имеют настроечную пружину с натяжным механизмом. На рис. 2.16-а изображена струйная трубка с воздействием от датчика - трубчатой пружины, на рис. 2.16-б показаны элементы регулятора уровня, в котором настройка осуществляется изменением плеча балансира  $a$ , положений поплавка и противовеса. Здесь же показаны вспомогательные задающие воздействия  $W_1$  и  $W_2$  которые могут быть использованы для формирования рассогласования в более сложных регуляторах, например изодромных и с предварением.

Для программных и следящих регуляторов в качестве механических задатчиков используются кулачковые и лекальные механизмы. Например, задающее устройство холодильной установки (рис. 2.16-в) и задающее устройство регулятора горения котельной установки (рис. 2.16-г). В этих задатчиках происходит преобразование вращательного движения (кулачок) и поступательного (лекало) движения носителя программы 2 в поступательное движение толкателя 1, связанного с регулятором. Программы, реализуемые этими задатчиками, сводятся к определению функций  $w = f(\varphi)$  или  $w = f(l)$  в зависимости от конфигурации поверхности носителя программы.

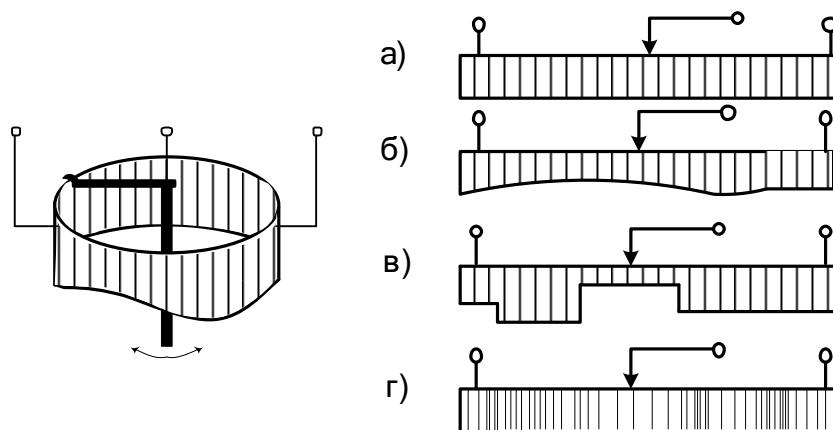


**Рис. 2.16 – Типы задающих устройств механического типа**

Электрические задатчики представляют собой резисторы с переменным сопротивлением, переменные индуктивности и переключатели. Формирование рассогласования в электрических схемах производится с использованием дифференциальных и мостовых методов включения.



На практике преобладают функциональные потенциометры поворотного типа с использованием зависимости электрического сопротивления от угла поворота. Форма каркаса в потенциометрических задатчиках определяет требуемую программу. Схема такого задатчика и формы профилированных каркасов приведены на рис. 2.17.



**Рис. 2.17 – Схема потенциометрического задатчика:**

а- линейный; б- профильный; в- ступенчатый; г- переменного шага.

## **2.5. Использование вычислительной техники при автоматизации**

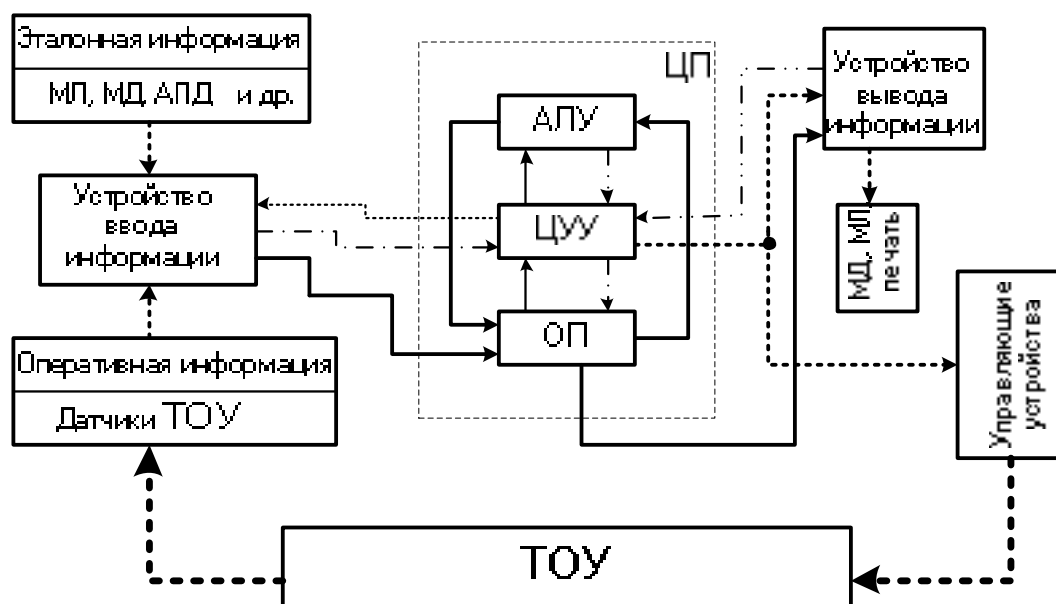
В настоящее время при автоматизации различных объектов стали все чаще использоваться управляющие электронные вычислительные машины, которые на основе сравнения измеряемых технологических параметров процесса с эталонными значениями, хранимыми в запоминающем устройстве ЭВМ, формируют управляющие воздействия.

Современная вычислительная техника дает возможность проектировать быстродействующие системы автоматического управления (САУ) с большим объемом памяти и с возможностью обслуживать несколько технологических процессов. Однако использование ЭВМ общего назначения в целях управления является дорогостоящим из-за необходимости организовывать линии связи и

использования специальной аппаратуры передачи данных. Поэтому в системах управления используются специальные управляющие машины на основе микропроцессорной техники.

Микропроцессор (МП) создается на основе одной или нескольких больших и сверхбольших интегральных схем (БИС и СБИС), позволяющих размещать большое число электронных элементов (транзисторов, диодов и т.д.) на одной кремниевой подложке (в одном кристалле). При этом микропроцессоры можно подразделить на однокристалльные, рабочие узлы которых расположены в одном кристалле, и многокристалльные – с расположением рабочих узлов в нескольких кристаллах. На основе МП создаются компактные микро-ЭВМ, используемые как в автоматизации, так и в разных отраслях народного хозяйства. Выпускаемые в настоящее время МП в состоянии обрабатывать 16-ти разрядную числовую информацию.

На рис. 2.18 показана упрощенная структурная схема микро-ЭВМ, построенная на базе МП, входящих в состав центрального процессора ЦП.



**Рис. 2.18 – Структурная схема АСУ с микро-ЭВМ**

Как видно из схемы, дополнительно к ЦП состав микро-ЭВМ пополняется устройствами ввода и вывода информации.

Общей для указанных видов микропроцессоров является структура ЦП, в основные МП- блоки которой входят: АЛУ - арифметико-логическое устройство» ЦУУ - центральное устройство управления и ОП - оперативная память. АЛУ служит для выполнения арифметических и логических операций, выработки сигналов управляющего воздействия и выходной информации. ЦУУ может состоять из отдельных функциональных МП и служит для организации выборки команд данных из ОП, дешифровки команд и управления последовательностью арифметических и логических операций в АЛУ. ОП предназначена для хранения вводимой информации, а также промежуточных и окончательных результатов вычислений. Жирные линии связи показывают информационные каналы (шины данных), прерывистые – управляющие каналы, штрихпунктирные - каналы обратных связей -ответных сигналов о выполнении команд, Источниками эталонной информации могут быть магнитные ленты и диски МЛ и МД, аппаратура передачи данных АПД.

Выполнение каждой команды в МП определяется последовательностью управляющих сигналов, вырабатываемых ЦУУ. Команды могут записываться в таком же виде, в каком они будут храниться в памяти, например в виде двоичных кодов. При программировании используется символическое изображение всех частей (полей) команд. Такие программы преобразуются в двоичный код вручную или автоматически с помощью специальной программы перевода. Двоичное представление команд называется машинным языком, кодирование команд в машинном коде - программированием.

Для программирования задач применяется язык АССЕМБЛЕР и языки более высокого уровня: ФОРТРАН, Паскаль, ПЛ/1, БЕЙСИК. Для перевода программы с языков высокого уровня применяют трансляторы, называемые компиляторами. При трансляции программы с языка высокого уровня на язык машинных команд каждое предложение исходного языка порождает несколько машинных команд, тогда как для АССЕМБЛЕРА в основном соблюдается соотношение один к одному. Поэтому программы, написанные на языках высокого уровня, оказываются значительно компактнее.

### 3. Основные положения теории автоматического управления

При проектировании любого технологического объекта в основе лежат инженерные расчеты, обеспечивающие функционирование объектов для номинальных и стационарных условий. Однако при эксплуатации объекты работают в основном при нестационарных условиях, которые определяются действием различного рода внешних и внутренних возмущений, поэтому технологические объекты нуждаются в определенных компенсирующих воздействиях извне, чтобы их режимы возвратились к расчетным. Такой процесс компенсации возмущений объекта называют его управлением.

#### 3.1. Понятия и определения теории автоматического управления

Совокупность объекта управления и технических устройств, предназначенных для управления, называется *системой автоматического управления (регулирования)* (САУ, САР). Основная задача САУ заключается в том, чтобы на основе информации об объекте выработать управляющие воздействия, позволяющие поддерживать объект в стабильном состоянии либо перевести его в новое стабильное состояние.

Технические устройства, входящие в САУ, включают в себя: датчики (Д); задающие устройства (ЗУ), определяющие закон функционирования объекта; регуляторы (Р), вырабатывающие управляющие воздействия по требуемому закону управления; управляющие органы (УО) и исполнительные механизмы (ИМ); регулирующие органы (РО).

*Автоматическим регулятором* называют устройство (механизм), предназначенное для поддержания на заданном значении (регулирования) какого-либо параметра в течение длительного времени без непосредственного участия человека в этом процессе.

*Регулируемый (управляемый) параметр* представляет собой физическую величину, которую нужно поддерживать на заданном значении.

Участок технологического процесса, в котором непосредственно производится регулирование какого-либо параметра (параметров) называют *объектом управления (ОУ)*.

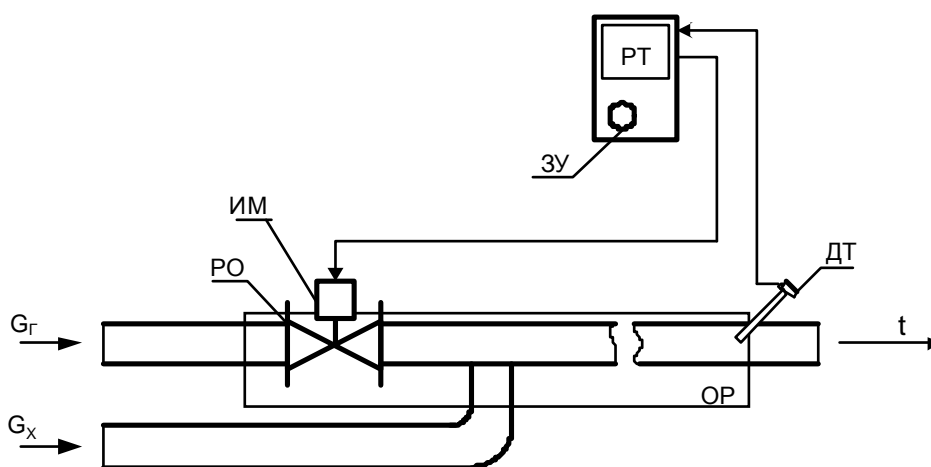
Датчик регулируемого параметра представляет собой контрольно-измерительный прибор, который измеряет текущее значение регулируемого параметра, преобразует его в соответствующий входной сигнал автоматического регулятора.

Задающее устройство (задатчик) предназначено для формирования заданного (требуемого) значения параметра. В большинстве случаев задающее устройство входит в конструкцию автоматического регулятора.

Регулирующие органы предназначены для непосредственного воздействия на измеряемый параметр (расход вещества или энергии), в качестве которых наиболее часто применяются различные виды регулирующих клапанов и заслонок, направляющие аппараты тягодутьевых машин и т.д.

Привод в действие регулирующих органов производится при помощи исполнительных механизмов, которые могут быть электрическими, пневматическими и гидравлическими.

Рассмотрим на примере простейшей САР схему автоматического регулирования температуры воды, представленную на рис. 3.1.



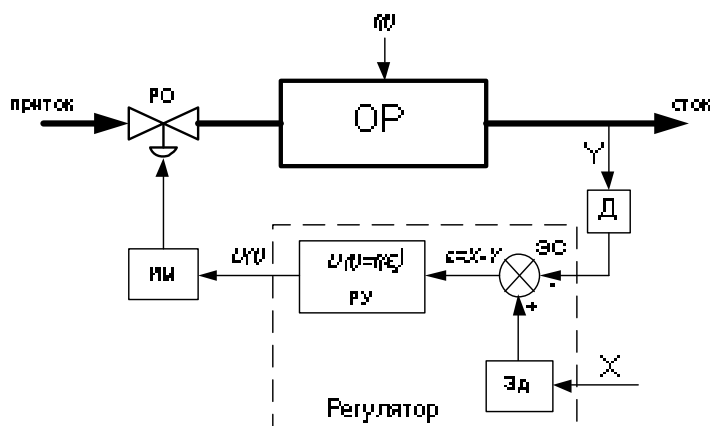
**Рис. 3.1 – Система автоматического регулирования температуры воды**

Технологическая часть схемы представляет собой два трубопровода, по одному из которых движется поток горячей воды  $G_g$ , а по второму - поток холодной воды  $G_x$ . Эти трубопроводы сварены между собой и образуют соединение, представляющее собой смеситель. После смешения поток воды с некоторой средней температурой  $t$  подается к потребителям. На участке трубопровода с потоком горячей воды  $G_g$  установлен регулирующий орган РО, в качестве которого применяется регулирующий клапан. При изменении проходного сечения клапана изменяется расход горячей воды через смеситель и, следовательно, температура воды  $t$  за смесителем. Текущее значение регулируемого параметра (температуры  $t$ ) непрерывно измеряется при помощи установленного в трубопроводе датчика температуры ДТ (например, термометр сопротивления). Электрический сигнал, поступающий от датчика к автоматическому регулятору температуры РТ, пропорционален значению температуры при любых ее изменениях.

Электронный автоматический регулятор сравнивает этот сигнал с заданным значением, поступающим от задающего устройства ЗУ, и в случае их неравенства включает в работу электрический привод исполнительного механизма ИМ, который открывает или закрывает регулирующий клапан РО.

Если температура воды за смесителем по каким-либо причинам стала выше заданной, то исполнительный механизм уменьшает проходное сечение клапана, расход горячей воды уменьшается и, следовательно, уменьшится температура воды, подаваемой к потребителям. Уменьшение температуры производится до тех пор, пока ее текущее и заданное значения не станут равными. В случае же, если температура воды за смесителем станет меньше заданного значения, то регулятор, воздействуя на исполнительный механизм, увеличит проходное сечение регулирующего органа, расход горячей воды возрастет, увеличивая температуру воды до заданного значения. В данном примере системы автоматического регулирования объектом регулирования (ОР) является участок трубопровода, от регулирующего клапана до места измерения температуры.

В общем случае простейшая система автоматического регулирования каким-нибудь параметром  $Y$  (управляемая величина) может быть представлена структурной схемой, показанной на рис. 3.2.



**Рис. 3.2 – Структурная схема САР**

В соответствии с данным рисунком, регулируемый объект имеет вход (приток вещества или энергии) и выход (сток вещества, энергии). Регулируемая величина  $Y$  воспринимается чувствительным элементом *первичного измерительного преобразователя* датчика  $Д$ , преобразуется во входной сигнал регулятора, который в своем составе имеет устройство сравнения  $ЭС$ , задатчик  $Зд$  и собственно регулирующее устройство  $РУ$ .

При отклонении регулируемой величины от заданного значения  $X$ , которое может быть вызвано нарушением режима работы объекта в связи с возникновением возмущающих воздействий  $f(t)$ , на выходе сравнивающего устройства образуется сигнал рассогласования  $\varepsilon = Y - X$ , обрабатываемый в регулирующем устройстве по какому-либо закону управления. В результате на выходе регулятора формируется управляющий сигнал  $U(t) = f(\varepsilon)$ , который передается к исполнительному механизму  $ИМ$ , приводящий в действие регулирующий орган  $РО$ , воздействующий на поток вещества через объект регулирования.

Источники возмущений могут находиться как внутри самой системы регулирования (внутренние возмущения), так и вне нее (внешние возмущения).

Примером внутреннего возмущающего воздействия может являться изменение задания регулятору, а внешнего возмущения - изменение нагрузки на объект регулирования или же воздействие различного рода помех.

Если в процессе регулирования регулируемая величина равна заданному значению, то система автоматического регулирования находится в состоянии равновесия (*установившийся режим*). При этом автоматический регулятор не вырабатывает никаких управляющих воздействий. При отклонении же регулируемой величины от заданного значения равновесие нарушается, регулятор приходит в действие и возникает процесс регулирования (*переходный режим*). Воздействие регулятора на объект регулирования направлено таким образом, чтобы свести рассогласование между действительным и заданным значениями регулируемого параметра к нулю. Регулятор воздействует на объект до тех пор, пока регулируемая величина не станет равной своему заданному значению.

### **3.2. Классификация и принципы работы систем регулирования**

Многообразие систем автоматического регулирования требует их классификации. В зависимости от различных признаков и свойств, присущих САР, среди них можно выделить следующие:

- *по виду регулируемого параметра* – САР температуры, давления, расхода, уровня, влажности и т.д.;
- *по принципу действия* - САР непрерывного, и дискретного действия;
- *по характеру воздействия регулятора на объект регулирования* - стабилизирующие, следящие, оптимальные и программные;
- *по виду энергии, используемой в регуляторе и исполнительном механизме* - электрические, пневматические, гидравлические;
- *по используемому принципу регулирования* - замкнутые, разомкнутые, комбинированные;



- *по динамическим свойствам* – быстродействующие, медленнодействующие;
- *по характеру установившегося режима* – статические и астатические.

САР непрерывного действия называются системы автоматического регулирования, в которых осуществляется постоянная непрерывная функциональная связь между всеми ее элементами, а непрерывному изменению регулируемого параметра соответствует непрерывное изменение во времени управляющего воздействия.

Дискретными называются такие САР, в которых непрерывному изменению во времени регулируемого параметра соответствуют дискретные изменения управляющих воздействий, либо дискретные изменения сигналов хотя бы в одном из элементов системы. Дискретные системы можно разделить на три основные группы: релейные, импульсные и цифровые.

В *стабилизирующих системах* заданное значение регулируемой величины остается неизменным при всех режимах работы объекта. На теплоэнергетических объектах такие системы применяются наиболее часто. Постоянными поддерживаются давление, температура, уровень, расход и ряд других величин, характеризующих работу оборудования.

В *следящих системах* регулируемая величина не остается постоянной, а меняется в зависимости от изменения какой-либо другой задающей величины. Такой способ регулирования применяется, например, при автоматизации подачи воздуха в топку котла. Расход воздуха при этом поддерживается пропорциональным расходу топлива. При правильной настройке соотношения между обоими расходами следящая система обеспечивает наиболее экономичные условия сжигания топлива.

В *системах программного регулирования* заданное значение регулируемой величины изменяется во времени по заранее заданной программе. Программное регулирование находит применение при автоматизации термических процессов на производстве, при автоматизации управления пусковыми процессами, при

автоматизации технологических режимов в соответствии с принятыми программными графиками, а также при автоматизации различных процессов, имеющих циклический характер.

Системы автоматизации, применяемые в технике, используют различные виды энергии (электрическую, пневматическую, гидравлическую) для перемещения регулирующего органа и формирования алгоритма регулирования, однако существует отдельный класс регуляторов, которые используют только энергию регулируемой среды. Такие регуляторы называются регуляторами прямого действия.

Различают два вида автоматического регулирования: статическое и астатическое. В основу такого различия положена характеристика зависимости между значением регулируемого параметра и величиной внешнего возмущающего воздействия на регулируемый объект. Она показывает точность поддержания заданного значения регулируемого параметра в установившихся режимах.

САР называют *статической* по отношению к внешнему воздействию, если ошибка, обусловленная этим воздействием, в установившемся режиме отлична от нуля. Если же ошибка САУ в установившемся режиме равна нулю, то такая система называется *астатической*.

Астатические САР более точно поддерживают заданное значение регулируемого параметра, но по сравнению с системами статического регулирования имеют более сложное конструктивное исполнение.

Построение систем автоматического регулирования основывается на применении или комбинировании двух основных принципов регулирования.

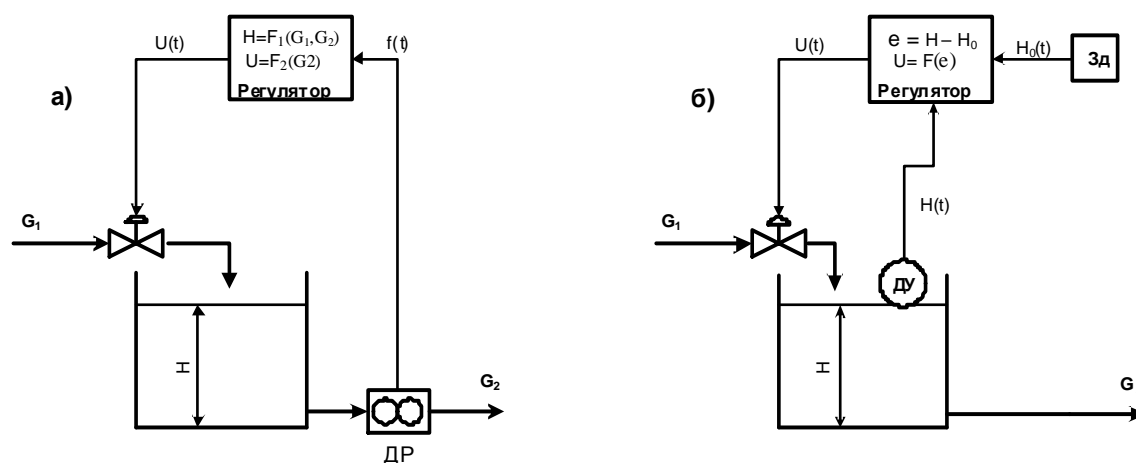
В зависимости от характера информации, получаемой в процессе работы объекта, наличия его математического описания и задач управления различают два основных принципа управления. На их основе строятся практически все САР, которые подразделяются на разомкнутые и замкнутые.

В *разомкнутой* системе управляющее воздействие вырабатывается на основе информации о величине возмущающих воздействий, характеристик

объекта и цели управления. В таких системах управляющее устройство не получает информацию о значении управляемой величины. Такое управление называется *жестким*, а принцип управления в этом случае называется *управлением по возмущению (принцип Понселе-Чиколева)*

В *замкнутой* системе управляющее воздействие вырабатывается в зависимости от значения управляемой величины, которое пропорционально величине рассогласования между измеренным текущим и заданным значением управляемой величины. Принцип управления, заложенный в такие системы, называется *управлением по отклонению (принцип Ползунова-Ватта)*.

Рассмотрим сущность этих принципов на примере управления уровнем жидкости в резервуаре при помощи разомкнутой системы (рис. 3.3-а) и замкнутой системы (рис. 3.3-б) управления. Здесь уровень жидкости  $H$  является управляемой величиной, расход жидкости из резервуара  $G_2$  – возмущающим воздействием, изменение притока жидкости  $G_1$  – управляющим воздействием.



**Рис. 3.3 - САУ уровня жидкости в емкости:**

а- разомкнутая; б- замкнутая.

В разомкнутой системе управляющее устройство не получает информации об уровне жидкости в резервуаре, но зато в него заложена информация, как этот уровень изменится с изменением притока жидкости. Получая информацию о величине возмущающего воздействия  $f(t)$  от датчика

расхода (ДР), управляющее устройство вычисляет по математической модели величину управляющего воздействия  $u(t)$  и устанавливает соответствующее открытие клапана на линии притока жидкости, тем самым, компенсируя влияние возмущающего воздействия. Такая система управления обеспечивает *инвариантность* (независимость) управляемой величины от возмущающего воздействия.

В замкнутой системе информация об управляемой величине  $H(t)$  поступает в управляющее устройство от датчика уровня (ДУ). В управляющее устройство поступает также информация от задающего устройства (Зд) о требуемом законе изменения уровня  $H_0(t)$ . Если значение управляемой величины отличается от заданного, то вырабатываемое управляющее воздействие  $u(t)$  будет пропорционально величине отклонения  $e(t)$  управляемой величины от задания.

При  $e(t) > 0$  управляющее воздействие направлено на уменьшение притока жидкости в резервуар, при  $e(t) < 0$  – на увеличение, а при  $e(t) = 0$  управляющее воздействие  $u(t)=0$ , так как управляемая величина имеет требуемое значение.

Для разомкнутых САР, использующих принцип управления по возмущению, характерны высокое быстродействие и простота, однако точность управления в таких системах зависит от полноты математического описания объекта и точности измерения возмущающих воздействий. Замкнутые САР, работающие на принципе управления по отклонению, характеризуются высокой точностью и наличием устройства, формирующим сигнал рассогласования управляемой величины. В этих системах отсутствуют жесткие требования к стабильности составных элементов, однако существует возможность возникновения автоколебаний (т.е. потери устойчивости).

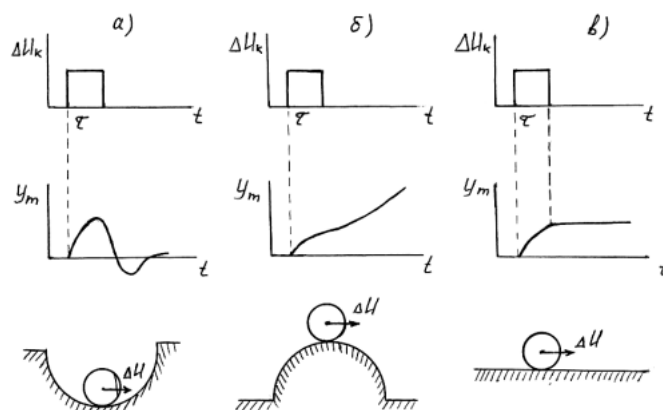
Для повышения точности и быстродействия САУ применяют *комбинированные* системы управления, в которых одновременно используются принципы по возмущению и отклонению. Такие системы являются наиболее

совершенными и применяются, когда основное управление ведется по возмущению, а по отклонению управляемой величины осуществляется коррекция управляющего воздействия.

### 3.3. Свойства объектов регулирования. Качество регулирования

При изучении различных объектов, подлежащих управлению, необходимо учитывать такие их свойства, как устойчивость, аккумулирующая способность, инерционность, наличие запаздывания и астатизма, зависимость управляемых величин от геометрических координат объекта.

Объект управления может быть устойчивым, неустойчивым и нейтральным. Под *устойчивостью* понимают способность управляемой координаты  $y_m$  с течением времени  $t$  возвращаться в исходное или близкое к нему состояние после кратковременного управляющего воздействия  $\Delta U_k$  длительностью  $\tau < t$ . Механическая аналогия таких объектов может быть представлена в виде шарика, находящегося в лунке (рис. 3.4-а).



**Рис. 3.4 - К понятию устойчивости объектов управления**

В *неустойчивых* объектах по окончании воздействия, как бы оно мало ни было, управляемая координата продолжает изменяться. Механическая аналогия – шарик на вершине холма (рис. 3.4-б).

*Нейтральными* объектами являются такие, в которых по окончании воздействия устанавливается новое состояние равновесия, зависящее от величины управляющего воздействия. Механический аналог таких объектов представим шариком на горизонтальной поверхности (рис. 3.4-в). Нейтральные объекты иногда называют объектами без *самовыравнивания*.

Различают устойчивость “в малом” и устойчивость “в большом”. Так некоторые нелинейные объекты могут быть устойчивы “в малом” (при воздействиях, не превышающих определенные пределы) и неустойчивы “в большом” (при воздействиях, превышающих некоторые пределы).

В зависимости от характера изменения выходных сигналов все объекты делятся на статические и астатические.

*Статическими* называют объекты, в которых выходной сигнал после нанесения возмущения принимает новое установившееся значение. Статические объекты носят также название объектов с *самовыравниванием*.

*Астатическими* называют объекты, в которых выходной сигнал после возмущения не принимает установившегося значения до тех пор, пока действует возмущение. Такие объекты относятся к объектам без самовыравнивания.

Параметры объектов могут быть *сосредоточенными* (постоянными по всем геометрическим координатам) и *распределенными* (переменными хотя бы по одной координате). В первом случае при описании объекта используется система обычных дифференциальных уравнений, а во втором – эта система уравнений дополняется уравнениями в частных производных:

Примерами объектов с распределенными параметрами могут быть системы трубопроводов, зональные печи и т.д.

Для формирования закона управления объектом необходимо знать уравнения динамики, которые в общем случае входят в математическое описание системы автоматического регулирования. Однако получение динамических моделей объекта часто связано с определенными трудностями,

поэтому на практике используют опытные данные, определяемые непосредственно на рассматриваемом объекте.

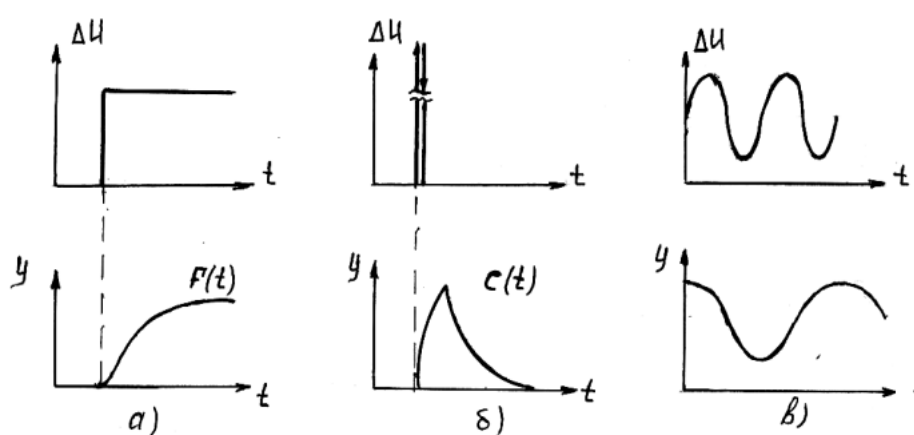
Динамические характеристики объекта управления устанавливаются на основе анализа сигналов, проходящих через объект. Обычно для установления математической модели объекта на его вход подается одно из трех типов “стандартных” возмущений. При этом на его выходе получают соответствующую кривую отклика, отражающую переходные процессы.

Различают следующие входные воздействия, используемые при изучении объекта:

1. *Ступенчатое возмущение* – входная управляющая величина меняется до нового значения и на выходе получают так называемую  $F$  – кривую (рис. 3.5-а).

2. *Импульсное возмущение* – мгновенно изменяется входная величина (дельта-функция) и получают так называемую  $C$  – выходную кривую (рис. 3.5-б).

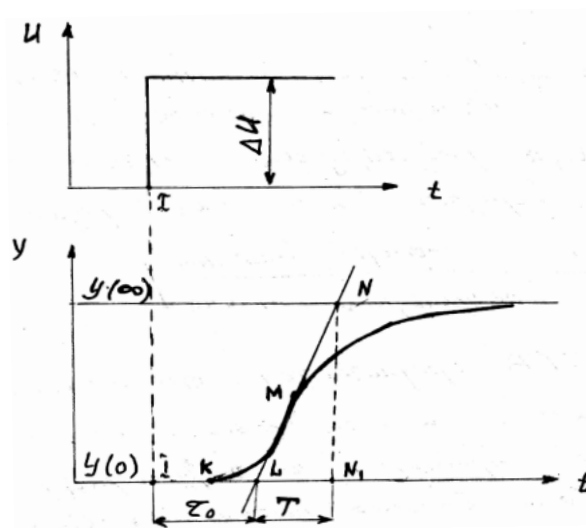
3. *Синусоидальное возмущение* – входная величина изменяется по закону гармонических колебаний, а на выходе получают измененную по амплитуде и фазе синусоиду (частотную характеристику) (рис. 3.5-в).



**Рис. 3.5 - Входные воздействия на объект и кривые откликов**

В теории управления выходные  $F$  – кривые называют также *кривыми разгона* или *кривыми переходных процессов*, по которым определяют

следующие характеристики объекта: постоянную времени, коэффициент передачи и время запаздывания. Для кривой разгона объекта, обладающего определенной емкостью и самовыравниванием, приведенной на рис. 3.6, проведем касательную в точке  $M$ , в которой скорость изменения выходной величины  $y(t)$  максимальна. продолжим эту касательную до пересечения с линиями начального и конечного установившегося значения выходной величины  $y(0)$  и  $y(\infty)$ .



**Рис.3.6 - Кривая разгона объекта с самовыравниванием**

Тогда отрезок времени от момента нанесения возмущения до точки пересечения касательной с осью ( $I-L$ ) определит общее время запаздывания объекта  $\tau_0$ . Величина  $\tau_0$  складывается из чистого (транспортного) запаздывания  $\tau_T$  (отрезок  $I-K$ ) и емкостного запаздывания  $\tau_e$  (отрезок  $K-L$ ). Для решения практических задач обычно пользуются общим временем запаздывания объекта  $\tau_0$ . Отрезок времени от момента пересечения касательной с линией начального установившегося значения выходной величины  $y(0)$  до момента ее пересечения



с линией нового установившегося значения  $y(\infty)$  (отрезок  $LN_1$ ) называется *постоянной времени объекта  $T$* .

Постоянная времени – это условное время изменения выходной величины от начального до конечного установившегося значения после ступенчатого входного возмущения, если бы это изменение происходило с максимальной и постоянной скоростью.

*Коэффициент передачи* (усиления) объекта представляет собой отношение изменения выходной величины объекта при переходе из начального состояния в конечное к единичному возмущению на входе. По кривой разгона (рис. 3.6) коэффициент передачи определяется следующим образом:

$$K_{об} = \frac{y(\infty) - y(0)}{\Delta U}, \quad (3.1)$$

где  $\Delta U$  – единичное возмущение на входе объекта.

В практике регулирования под единичным возмущением понимают единицу изменения расхода регулирующей среды или процент хода регулирующего органа. Таким образом, коэффициент передачи  $K_{об}$  имеет размерность:

$$[K_{об}] = \left[ \frac{\text{единица изменения выходной величины}}{\% \text{ хода регулирующего органа}} \right].$$

Среди объектов теплоснабжения различают одностепенные и многостепенные объекты. Емкость объекта связана с понятием постоянной времени и характеризует его инерционность. Чем больше постоянная времени, тем больше его инерционность, тем медленнее он реагирует на управляющие воздействия. В качестве показателя, характеризующего инерционность и, следовательно, управляемость, принимается отношение:

$$S = \frac{\tau_0}{T}, \quad (3.2)$$

где  $S$  – показатель управляемости;

$\tau_0$  – общее время запаздывания;

$T$  – постоянная времени.

Если  $S \leq 0,1$  – объект хорошо управляемый;

$0,1 < S \leq 0,4$  – управляемый;

$0,4 < S \leq 0,8$  – трудно управляемый;

$S > 0,8$  – неуправляемый.

К *однородным* объектам относятся все резервуары, в которых регулируется уровень жидкости; аппараты с регулируемой температурой, где смешиваются теплоносители; трубопроводы с регулируемым расходом или давлением; объекты, в которых регулируется давление пара и газа.

*Многомерные* объекты содержат две и более емкости, структурно представляющих цепь последовательно соединенных однородных звеньев. Примером двухмерного объекта может быть теплообменник с рубашкой или “труба – в трубе” и т.д.

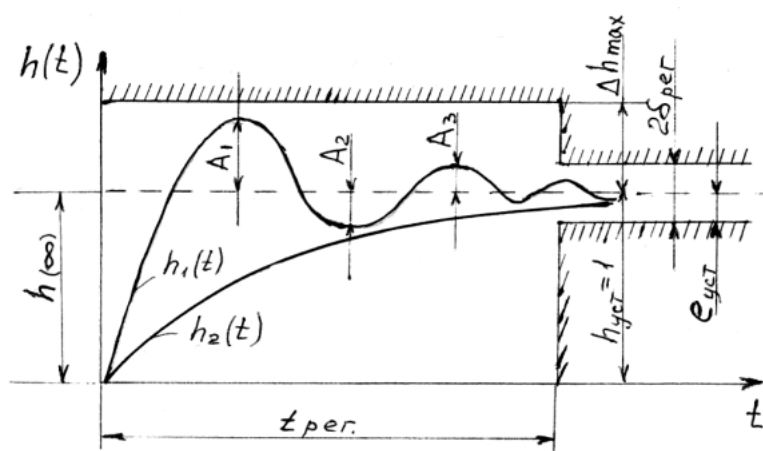
Величина емкости одного и того же объекта может быть постоянной и переменной. Например, если резервуар с жидкостью по всей высоте имеет постоянное сечение, то его емкость постоянна; в противном случае – переменной. В тепловых объектах емкость также может быть переменной из-за изменения теплоемкости теплоносителей.

Практическая пригодность любой САР определяется, в первую очередь, ее устойчивостью и приемлемым качеством регулирования. Обеспечение устойчивости САР не исчерпывает всех требований, которые выдвигаются к системам регулирования. Комплекс требований, определяющих поведение системы в установившихся и переходных режимах при заданном воздействии, объединяют в понятие качества процесса управления. Чтобы характер изменения управляемой величины удовлетворял требуемому качеству, необходимо подобрать (настроить) параметры САР, обеспечивая точную и быструю обработку управляющего воздействия.

Процессы управления в устойчивых САР обычно исследуют при наиболее неблагоприятных для системы воздействиях. К таким воздействиям, как уже отмечалось, относятся подача на вход системы единичного скачка, единичного импульса и т. д.

При воздействии на систему единичного скачка  $U(t)$  все переменные устойчивой системы, совершив переходной процесс, приходят в новое установившееся состояние. По характеру зависимости переходного процесса от времени можно судить о многих качествах исследуемой САР.

Рассмотрим кривые переходных процессов, изображенные на рис. 3.7.



**Рис. 3.7 - Переходные процессы в устойчивых САР**

Кривая  $h_1(t)$  соответствует процессам с *перерегулированием* (колебательным), а переходные процессы типа  $h_2(t)$  являются аперiodическими и называются *процессами без перерегулирования*.

Для оценки переходного процесса, помимо вида кривой, вводят количественные величины, являющиеся определяющими параметрами переходного процесса, которые должны удовлетворять требуемым значениям. К таким параметрам относятся:

1. Статическая точность системы

$$\delta_{\text{ст}} = |h_{\text{ст}} - h_{(\infty)}|; \quad (3.3)$$

2.  $t_{\text{рег}}$  - время регулирования, определяющее быстродействие системы ( $t_{\text{рег}} \leq t_{\text{рег.треб.}}$ ) Оно определяется в момент, когда

$$|h(t) - h_{\text{н\ddot{o}}} \leq 2\delta_{\text{\ddot{a}\ddot{a}}}, \quad (3.4)$$

где  $2\delta_{\text{p\ddot{e}}}$  - наперед заданная малая величина, характеризующая статическую точность системы ( $2\delta_{\text{p\ddot{e}}} \approx 5\%$ );

3. Величина перерегулирования, характеризующая плавность протекания процесса (динамическая ошибка САР);

$$\Delta h_{\text{max}} = \frac{A_1 - h(\infty)}{\dot{A}_1} \leq \Delta h_{\text{max}}, \quad \% . \quad (3.5)$$

4.  $N$  - число перерегулирований, показывающее, сколько раз колебания  $h(t)$  около нового установившегося значения превысили величину  $2\delta_{\text{p\ddot{e}}}$ . (для качественных САР  $N \leq 2$ ) Этот параметр определяется как число выбросов, для которых

$$h(t) - h_{\text{н\ddot{o}}} > 2\delta_{\text{\ddot{a}\ddot{a}}} > 0 \quad (3.6)$$

5. Степень затухания (для колебательных процессов)

$$\xi = \frac{A_1 - A_3}{A_1} \leq \xi_{\text{\ddot{o}\ddot{d}\ddot{a}\ddot{a}}} \quad (3.7)$$

Обычно требуемое значение степени затухания  $\xi_{\text{треб}} \geq 0,9$ .

Оценка качества процесса управления по кривым переходных процессов относится к *прямым методам*, применение которых эффективно в случае, если найдено аналитическое выражение переходного процесса и по нему построен график  $h(t)$ , а также при наличии экспериментальных кривых. В противном случае для исследования качества процессов управления применяются косвенные методы.

Для исследования качества САР косвенными методами широко применяются *интегральные оценки*, позволяющие простыми средствами получить представление о процессе управления.

Основная идея, заложенная в интегральные оценки, заключается в том, чтобы охарактеризовать процесс управления одним числом, по величине

которого можно было бы сделать выводы о протекании процесса в течение заданного интервала времени.

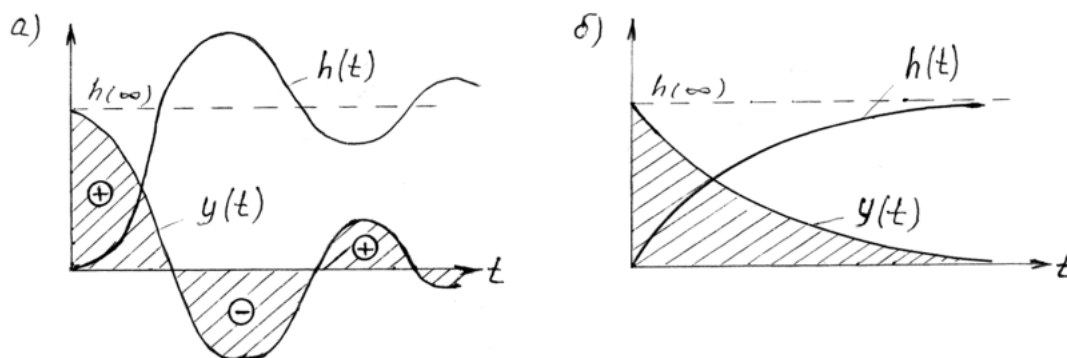
Подобного рода оценки называются функционалами качества и имеют вид:

$$I_0 = \int_0^T F[f(t)]dt, \quad (3.8)$$

где  $f(t)$  - изучаемый процесс;

$F$  - некоторая функция времени  $\theta(t) = t^l$ .

Для удобства исследования качества переходных процессов, выделим из них свободную составляющую  $y(t) = h(\infty) - h(t)$ , показанную на рис. 3.8 (а- для колебательного процесса; б- для апериодического процесса). Как видно из рисунка, о качестве процесса можно судить как по  $h(t)$ , так и по  $y(t)$ .



**Рис.3.8 - Выделение свободной составляющей для переходных процессов**

Обычно время окончания переходного процесса не может быть указано заранее. Поэтому в общем случае принимают  $T = \infty$ , что требует абсолютной интегрируемости подынтегральной функции в выражении (3.8).

Линейной интегральной оценкой переходной составляющей процесса управления называется определенный интеграл вида

$$I_{00} = \int_{t_1}^{t_2} t^l \cdot y(t) dt , \quad (3.9)$$

при  $l = 0$ , получаем интеграл вида

$$I_{00} = \int_{t_1}^{t_2} y(t) dt . \quad (3.10)$$

Этот интеграл равен площади фигуры, заключенной между кривой  $y(t)$  и осью времени  $t$  (на рис. 3.8 заштрихована). При этом для обеспечения лучшего качества процесса, очевидно, что  $I_{00}$  должна быть минимальной.

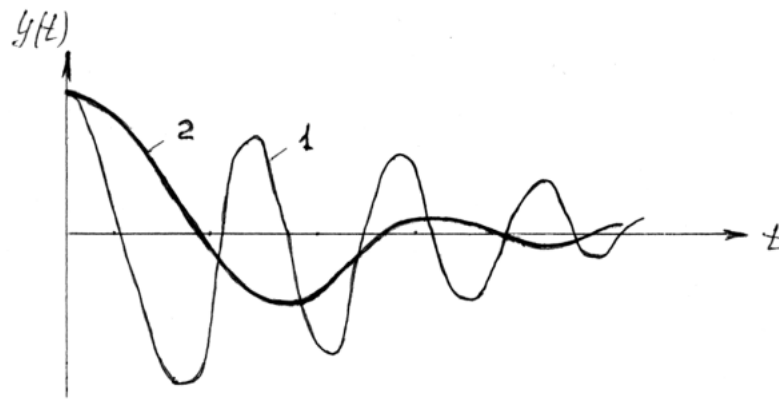
Однако, если заранее вид переходного процесса неизвестен, то использование линейной интегральной оценки может привести к неверным выводам, так как при сильном перерегулировании (рис. 3.8-а)  $I_{00} \rightarrow 0$ , но это вовсе не означает, что такой процесс обладает наилучшим качеством.

Чтобы избавиться от недостатков, свойственных линейным оценкам, используют квадратичные оценки, которая имеет следующий вид:

$$I_2 = \int_{t_1}^{t_2} y^2(t) dt \rightarrow \min . \quad (3.11)$$

В соответствии с этой оценкой, чем меньше будет сумма абсолютных величин площадей между  $y^2(t)$  и осью времени, тем меньше будет ее величина. Следовательно, квадратичные оценки применимы и к колебательным системам.

Оценка  $I_2$  хотя и свободна от недостатков оценки  $I_{00}$ , но не дает информации о степени колебательности переходного процесса. Вполне возможно, что оценка  $I_2$  будет меньше при сильно колебательном переходном процессе, в то время как менее колебательный и практически более пригодный переходной процесс будет иметь большее значение  $I_2$ . Например, на рис. 3.9 показаны два различных процесса, соответствующие одному и тому же значению  $I_2$ , из которого видно, что процесс 1 малоприспособен для практики, а процесс 2 соответствует хорошему качеству системы.



**Рис. 3.9 - Переходные процессы с разной степенью колебательности**

Поэтому часто используется оценка, учитывающая, помимо  $y^2(t)$ , квадрат скорости протекания процесса  $\left(\frac{dy(t)}{dt}\right)^2$ , которая записывается в следующем виде:

$$I_2 = \int_{t_1}^{t_2} [y^2(t) + \tau^2 \cdot (y'(t))^2] dt \rightarrow \min. \quad (3.12)$$

Оценку качества системы по  $I_3 \rightarrow \min$  производят только в тех случаях, когда можно, исходя из требований плавности переходного процесса, а также быстродействия, указать примерное значение показателя  $\tau$ . Значение показателя  $\tau$  обычно выбирают из интервала

$$\frac{t_{\text{рег}}}{6} < \tau < \frac{t_{\text{рег}}}{3}, \quad (3.13)$$

где  $t_{\text{рег}}$  - требуемое время регулирования.

### **3.4. Автоматические регуляторы. Типовые законы регулирования**

Динамические характеристики объектов, как было указано ранее, могут быть представлены некоторыми типовыми зависимостями. Это позволяет разнообразие законов регулирования свести к нескольким типовым (стандартным) законам, которые в большинстве случаев используются на практике. В этом случае задача синтеза САР сводится к выбору подходящего

регулятора с типовым законом регулирования и определению оптимальных параметров его настройки.

В практике автоматизации технологических объектов в большинстве случаев применяются регуляторы со следующими законами регулирования.

**Пропорциональные регуляторы** (П- регуляторы). Данные регуляторы перемещают регулирующий орган пропорционально отклонению регулируемой величины от заданного значения:

$$U(t) = K \cdot e(t), \quad (3.14)$$

где  $K$  – коэффициент передачи П- регулятора;

$e(t)$  – отклонение управляемой величины.

П- регулятор соответствует безынерционному звену, коэффициент которого равен отношению перемещения регулирующего органа к отклонению управляемой величины. Пропорционально регуляторы позволяют устойчиво регулировать практически все промышленные объекты. Однако при различных нагрузках управляемого объекта П – регуляторы поддерживают управляемый параметр на различных значениях. Это связано с тем, что перемещение регулирующего органа в положение, соответствующее изменившейся нагрузке, может быть произведено только за счет изменения управляемой величины. Данное явление называется *остаточной неравномерностью* или *статизмом*.

**Интегральные регуляторы** (И– регуляторы). Эти регуляторы перемещают регулирующий орган пропорционально интегралу отклонения управляемой величины

$$U(t) = \frac{K}{T_u} \int e(t) dt, \quad (3.15)$$

где  $K$  – коэффициент передачи регулятора;

$T_u$  - время интегрирования.

Рассматриваемый закон может быть записан иначе



$$U'(t) = k_{ин} e(t), \quad (3.16)$$

т.е. скорость перемещения регулирующего органа пропорциональна отклонению управляемой величины от заданного значения. Коэффициент передачи И-регулятора численно равен отношению скорости перемещения регулирующего органа к отклонению управляемой величины.

По своим динамическим свойствам И-регулятор подобен интегрирующему звену и может устойчиво работать только с объектами, обладающими самовыравниванием.

**Пропорционально – интегральные регуляторы** (ПИ – регуляторы). Эти регуляторы называются также *изодромными* регуляторами. ПИ – регуляторы перемещают регулирующий орган пропорционально сумме отклонения и интегралу от отклонения управляемой величины. Уравнение ПИ- регулятора имеет следующий вид:

$$U(t) = K \left[ e(t) + \frac{1}{T_u} \int e(t) dt \right]. \quad (3.17)$$

Этот закон управления может быть также представлен в следующем виде:

$$U'(t) = K \left[ e'(t) + \frac{1}{T_u} e(t) \right], \quad (3.18)$$

т.е. скорость перемещения регулирующего органа пропорциональна отклонению и скорости отклонения управляемой величины от заданного значения. Постоянная времени интегрирования  $T_u$  характеризует степень ввода интеграла в закон регулирования и называется *временем изодрома*. Уравнение ПИ – регулятора соответствует параллельному включению пропорционального звена с коэффициентом передачи  $K$  и интегрирующего звена с коэффициентом передачи  $K/T_u$ . При устремлении  $T_u \rightarrow \infty$ , из ПИ – регулятор может быть получен П – регулятор. Если же  $K \rightarrow 0$ , и  $T_u \rightarrow 0$ , при  $K/T_u = const$ , то получится И – регулятор с коэффициентом передачи  $K/T_u$ .

ПИ –регуляторы получили на практике наибольшее распространение, т.к. отличаются простой конструкцией и при этом позволяют устойчиво и без статической ошибки регулировать большое число объектов.

***Пропорционально –интегрально -дифференциальные регуляторы*** (ПИД –регуляторы). Такие регуляторы перемещают регулируемый орган пропорционально отклонению, интегралу и скорости изменения управляемой величины. Закон регулирования ПИД- регулятора имеет следующий вид:

$$U(t) = K \left[ e(t) + \frac{1}{T_u} \int e(t) dt + T_d e'(t) \right]. \quad (3.19)$$

Постоянная времени  $T_d$  называется *временем предварения* и характеризует степень ввода в данный закон управления производной от отклонения управляемой величины от заданного значения. В динамическом отношении этот регулятор соответствует параллельному включению пропорционального, интегрирующего и идеального дифференцирующего звеньев. При  $T_d = 0$  из ПИД –регулятор может быть получен ПИ –регулятор.

Применяются ПИД –регуляторы на объектах, где возможны неожиданные, но известные возмущения управляемого параметра. Только при неожиданных возмущениях в работу регулятора включается дифференцирующая часть, а в остальное время ПИД –регулятор работает как ПИ –регулятор.

Помимо указанных регуляторов на практике широко применяются позиционные регуляторы (позиционеры), срабатывание которых происходит при достижении управляемой величиной заданного предела и остающиеся в этом состоянии, пока регулируемая величина находится за пределами их настройки. Эти регуляторы намного проще по сравнению с другими видами регуляторов и применяются в тех случаях, когда не требуется большая точность регулирования, для стабилизации управляемой величины в заданных пределах, а также для процессов, требующих автоматического включения, переключения и в системах защитных блокировок.

Основные законы регулирования и область их применения сведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Закон регулирования.	Характеристика объекта		Характер изменения нагрузки		Область применения
	Емкость	Скорость реакции	Значение	Скорость	
Позиционный	Большая	Малая	Произвольное	Произвольная	Установки с большой постоянной времени, резервуары, котлы водяного отопления, отопительные приборы
И-	Произвольная	Быстрая	Произвольное	Малая	Объекты с малым запаздыванием, промышленные печи, СКВ, объекты с самовыравниванием
П-	Средняя	Умеренная	Малое	Средняя	Регулирование уровня, сушильные печи и т.д.
ПИ-	Произвольная	Произвольная	Большое	Средняя	Объекты с большой скоростью протекания процессов
ПИД-	Произвольная	Произвольная	Большое	Большая	Объекты с неожиданными возмущениями

Значения оптимальных параметров настройки типовых регуляторов для объектов с самовыравниванием приведены в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Тип регулятора	Тип переходного процесса		
	Апериодический с $\min t_{\text{рег}}$	С 20 % перерегулирования	С $\min$ квадрат. площадью
И-	$T_S = 4,5 \cdot K_0 \cdot T_0$	$T_S = 1,7 \cdot K_0 \cdot T_0$	$T_S = 1,7 \cdot \tau \cdot K_0 \cdot T_0$
П-	$K_p = \frac{0,3}{K_0 \cdot \tau / T_0}$	$K_p = \frac{0,7}{K_0 \cdot \tau / T_0}$	$K_p = \frac{0,9}{K_0 \cdot \tau / T_0}$
ПИ-	$T_u = 0,8\tau + 0,5T_0$ $K_p = \frac{0,95}{K_0 \cdot \tau / T_0}$	$T_u = \tau + 0,3T_0$ $K_p = \frac{1,2}{K_0 \cdot \tau / T_0}$	$T_u = \tau + 0,35T_0$ $K_p = \frac{1,4}{K_0 \cdot \tau / T_0}$
ПИД-	$T_u = 2,4\tau$ $T_d = 0,4\tau$	$T_u = 2,0\tau$ $T_d = 0,4\tau$	$T_u = 1,3\tau$ $T_d = 0,5\tau$

В табл. 3.2 приняты следующие обозначения:

$T_s$  - коэффициент передачи И- регулятора;

$K_p$  - коэффициент усиления регуляторов;

$T_u$  - время изодрома;

$T_\delta$  - время предварения;

$K_0$ ,  $T_0$  - коэффициент усиления и постоянная времени объекта, соответственно;

$\tau$  - время запаздывания объекта.

При выборе того или иного типа регулятора, необходимо руководствоваться величиной отношения  $\tau/T_0 = a$  для объекта управления. Если значение  $a \leq 1$ , то выбираются регуляторы непрерывного действия; при  $a < 0,2$  – позиционные; в случае же  $a > 1$  - импульсного действия.

#### **4. Автоматизация в системах теплогазоснабжения и вентиляции**

##### **4.1. Основы проектирования схем автоматизации**

Основные решения по автоматизации систем ТГВ принимаются в процессе разработки схем автоматизации. Схемы автоматизации разрабатываются после проектирования технологических схем и принятием решений по выбору основного и вспомогательного оборудования, его механизации и способов коммуникации.

При разработке схем автоматизации определяется уровень автоматизации проектируемого оборудования, размещение приборов, а также и пунктов контроля и управления, осуществляется выбор аппаратуры автоматизации. При разработке проектов автоматизации необходимо руководствоваться основными обязательными положениями, которые приведены в СНиП II-35-76 (раздел 15 - "Автоматизация").

При разработке схем автоматизации следует применять серийно выпускаемые приборы, регуляторы и аппаратуру. Применение опытных образцов приборов, а также импортной аппаратуры допускается при наличии соответствующих технико-экономических обоснований, сертификатов соответствия и согласования возможности их поставки.

По типам схемы автоматизации делятся на структурные, функциональные, принципиальные, монтажные и схемы соединений.

*Структурная схема* представляет собой укрупнённую структуру системы управления и взаимосвязь между элементами системы, пунктами контроля и управления объектом.

*Функциональная схема* отражает функционально-блочную структуру отдельных узлов систем автоматического контроля, регулирования и управления, определяет оснащение объекта автоматизации приборами и средствами автоматизации с указанием их функциональных признаков на различных уровнях автоматизации в соответствии с поставленными задачами. На основании функциональных схем разрабатываются принципиальные электрические, пневматические и гидравлические схемы.

*Принципиальная схема* определяет полный состав элементов, модулей, вспомогательной аппаратуры и связей между ними. Принципиальная схема служит основанием для разработки схем внешних соединений, общих видов и монтажных схем щитов и пультов автоматизации.

*Монтажная схема* отражает соединения электрических и трубных проводок в пределах комплектных устройств (щитов, пультов и т.п.).

*Схема соединений* представляет собой внешние электрические и трубные связи между измерительными устройствами и средствами получения первичной информации, с одной стороны, щитами и пультами автоматизации, с другой.

Схемы автоматизации, как правило, выполняют без соблюдения масштаба. В монтажных схемах соблюдается действительное пространственное расположение отдельных средств автоматизации и монтажных изделий.

Структурная схема автоматизации представляет собой чертёж, на котором в виде прямоугольников произвольных размеров наносятся обозначения основных элементов технологического контроля, регулирования и управления. Внутри прямоугольников выполняются надписи, поясняющие функциональное назначение элемента. Функциональные связи между элементами и их направление изображают в виде стрелок.

Функциональная схема автоматического контроля и управления предназначена для отображения основных технических решений, принимаемых при проектировании системы автоматизации технологических процессов. Она является одним из основных документов проекта автоматизации и входит в его состав при разработке технической документации на всех стадиях проектирования.

В процессе разработки функциональной схемы формируются структура создаваемой системы, функциональные связи между объектом управления (технологическим процессом) и комплексом технических средств автоматизации, представляющим собой комплекс приборов управления, сбора, обработки и хранения информации.

При создании функциональной схемы определяют:

1. задачи и целесообразный уровень автоматизации технологического процесса;
2. принципы организации контроля и управления технологическим процессом;
3. технологическое оборудование, управляемое автоматически, дистанционно или в обоих режимах по заданию оператора;
4. перечень и значения контролируемых и регулируемых параметров;
5. методы контроля, законы регулирования и управления;
6. объём автоматических защит и блокировок автономных схем управления технологическими агрегатами;
7. комплект технических средств автоматизации, вид энергии для передачи информации;

8. места размещения аппаратуры на технологическом оборудовании, на щитах и пультах управления.

Функциональная схема представляет собой чертёж, содержащий упрощенное изображение технологической схемы автоматизируемого процесса или агрегата. Оборудование на схеме показывается обычно в виде условных изображений, соединённых между собой линиями технологических связей, которые отражают направление потоков вещества или энергии.

На функциональной схеме изображаются системы автоматического контроля, регулирования, телемеханики, дистанционного управления, сигнализации, защиты и блокировок. Все элементы систем управления показываются в виде условных изображений и объединяются в единую систему линиями функциональной связи. Нанесённые на условные изображения буквенные обозначения отражают функции, выполняемые аппаратурой управления.

На функциональной схеме показывается также различная аппаратура управления:

- устройства, устанавливаемые на технологических агрегатах и трубопроводах;
- первичные приборы (датчики) и регулирующие органы; приборы, монтируемые около технологической аппаратуры (по месту);
- блоки усилителей, преобразователи сигналов, магнитные пускатели, местные измерительные приборы, исполнительные механизмы;
- аппаратура, устанавливаемая на щитах и пультах автоматики; вторичные приборы, регуляторы, ключи управления, сигнальные лампы.

Кроме того, на схеме даются текстовые пояснения, отражающие назначение и характеристики технологических агрегатов, величины контролируемых и регулируемых параметров, условия блокировки и сигнализации.

В некоторых случаях, когда функциональная схема оказывается графически насыщенной, её можно разделить на несколько схем, выделяя системы управления отдельными агрегатами технологического процесса.

При построении функциональных схем автоматизации используются условные обозначения по ГОСТ 21.404-85 «Приборы и средства автоматизации. Обозначения условные в схемах автоматизации технологических процессов», которые приведены в таблице 4.1.

Измеряемые (регулируемые) технологические параметры и функции, выполняемые соответствующими приборами, обозначаются буквами латинского алфавита.

При этом применяются следующие обозначения:

<b>D</b> - плотность;	<b>P</b> - давление;
<b>F</b> - расход;	<b>Q</b> - концентрация, компонентный состав;
<b>G</b> - размер, положение;	<b>R</b> - радиоактивность;
<b>H</b> - ручное воздействие;	<b>S</b> - скорость, частота;
<b>K</b> - временная программа;	<b>T</b> - температура;
<b>L</b> - уровень;	<b>U</b> - несколько измеряемых величин;
<b>M</b> - влажность;	<b>V</b> - вязкость;
<b>N</b> - резерв (аппаратура управления электродвигателями)	
<b>O</b> – резервная буква;	<b>X</b> – нерекомендуемая резервная буква.

Для уточнения измеряемых и регулируемых параметров используются следующие буквы:

<b>D</b> – разность, перепад;	<b>J</b> – автоматическое обегание, переключение;
<b>F</b> – соотношение, доля;	<b>Q</b> – интегрирование, суммирование по времени;



Найменування	Зображення
1	2
Прилад, установлюваний по місцеві. Загальне позначення.	
Прилад, установлюваний по місцеві. Позначення, що допускається.	
Прилад, установлюваний на щиті автоматики. Загальне позначення.	
Прилад, установлюваний на щиті автоматики. Позначення, що допускається.	
Виконавчий механізм. Загальне позначення.	
Виконавчий механізм. Позначення, що допускається.	
Регулювальний орган.	
Лінія функціонального зв'язку	
Пристрій добору вимірюваного параметра	
Лінія функціонального зв'язку з крапкою добору вимірюваного параметра	
Перетинання ліній функціонального зв'язку з з'єднанням	
Перетинання ліній функціонального зв'язку без з'єднання	
Світловий сигнальний пристрій. Електрична лампа	
Звуковий сигнальний пристрій. Ревун	
Електропривод. Двигун	
Ручний привід регулюючого органа. Основне позначення.	
Ручний привід регулюючого органа. Позначення, що допускається	

В схемах автоматизации указываются также следующие функциональные признаки приборов:

*отображение информации:*

I - показание; R - регистрация, запись показаний; A – сигнализация;

*формирование выходного сигнала:*

C - регулирование; S - включение, отключение, переключение, (H и L - соответственно верхний и нижний пределы параметров).

Для дополнительных обозначений, отражающих функциональные признаки приборов и преобразователей сигналов, используют следующие буквы:

E – чувствительный элемент;

T - дистанционная передача;

K - станция управления;

Y – вычислительная операция.

Буквами **E**, **P** и **G** - соответственно обозначают электрический, пневматический и гидравлический сигналы.











При использовании в составе системы автоматизации вычислительных устройств, функции преобразования сигналов обозначаются соответствующими математическими знаками:  $\Sigma$ ;  $\sqrt[n]{\phantom{x}}$ ;  $\times$ ;  $\div$ ;  $\int$ ;  $\lg$ ;  $dx/dt$ ;  $\max$ ;  $\min$  и др.

Обозначения технологических параметров и функциональных признаков записываются в верхней части изображения соответствующего прибора, указанного в табл. 4.1. Порядок расположения буквенных обозначений (слева направо) должен быть следующим: обозначение основной измеряемой величины; обозначение, уточняющее (если необходимо) основную измеряемую величину; обозначение функционального признака прибора. Функциональные признаки также располагаются в определённом порядке, например **I-R-C-S-A**. В нижней части окружности или под чертой щитового прибора указываются номера позиций на функциональной схеме, в соответствии с которыми заполняются спецификации на комплекс технических средств автоматизации.

Примеры условных изображений элементов технологического контроля и автоматики приведены в таблице 4.2.

Примеры условных изображений средств автоматизации.

Таблица 4.2.

	Измеритель температуры, показывающий, установленный по месту. Например, манометрический термометр и т.д.
	Измеритель давления, установленный по месту. Например манометр технический пружинный
	Датчик температуры, установленный по месту. Например, термopара или термометр сопротивления.
	Термометр регистрирующий, показывающий, установленный по месту. Например, термометр манометрический типа ТСГ.
	Многоканальный щитовой регистрирующий измеритель температуры с устройством регулирования и сигнализации. Например, потенциометр КСП-4.
	Датчик расхода. Например, камерная диафрагма типа ДК.
	Щитовой счетчик количества вещества.
	Автоматический регулятор давления, установленный на щите. Например, электронный регулирующий прибор типа Р-25.
	Датчик загазованности по метану. Например, датчик термoкаталитический типа ДТХ-127.
	Дискретный регулятор-сигнализатор уровня с верхним и нижним пределами. Например, регулятор уровня электрический типа ДУЖЭ.

При условном обозначении приборов следует указывать лишь те признаки, которые являются существенными в данной системе контроля или регулирования. Например, при обозначении приборов контроля и управления температурным режимом могут быть применены следующие обозначения: ТЕ - первичный преобразователь; TS – реле температуры; ТА - сигнализатор; ТС - регулятор; ТИТ - показывающий и преобразующий прибор; TJR - прибор регистрирующий с обтекающим устройством; TIRC - прибор показывающий, регистрирующий и регулирующий.

В нижней части обозначаемого прибора проставляются номера позиций с использованием цифр и букв, на основании которых составляются спецификации на ТСА.

Для удобства чтения функциональных схем автоматизации в нижней ее части изображается таблица, состоящая как минимум из двух строк, отражающая уровни системы автоматизации. В первой строке таблицы находятся изображения приборов, находящихся непосредственно по месту на

автоматизируемом объекте. Вторая строка – приборы на локальных щитах автоматики, третья – приборы и средства автоматики на центральном пульте и т.д. В случае, когда линии функциональных связей затрудняют чтение схемы из-за большого количества, их допускается разрывать, нанося одни и те же номера возле их разрывов. При этом номера разрывов линий связи, входящих в строку «приборы по месту» таблицы проставляются обязательно в возрастающем порядке, а над каждой линией связи возле таблицы проставляется номинальное или максимальное значение контролируемого параметра, что необходимо для подбора средств контроля с требуемым диапазоном измерения.

Примеры построения функциональных схем автоматизации для различных объектов теплогазоснабжения и вентиляции рассматриваются в последующих разделах настоящего пособия.

## **4.2. Автоматизация систем теплоснабжения**

Системы теплоснабжения, предназначенные для создания комфортных условий обитания человека, состоят из двух основных подсистем: системы отопления (СО) и системы горячего водоснабжения (ГВС). Кроме того, тепло получаемое в этих системах используется для подогрева воздуха в приточной вентиляции помещений.

На сегодняшний день примерно 85% теплоты, потребляемой городами и другими населенными пунктами, обеспечивается централизованным теплоснабжением, которое осуществляется от ТЭЦ, районных тепловых станций и квартальных котельных. Для централизованного теплоснабжения характерна разнотипность подключаемых потребителей - системы отопления, горячего водоснабжения, вентиляции и т. п.

Основными целями автоматизации теплоснабжающих систем является обеспечение: теплового и санитарно-гигиенического комфорта потребителя; поддержания заданных гидравлических режимов в различных звеньях системы,

включая защиту от аварийных ситуаций; экономии топлива, теплоты и электрической энергии; эффективности и надежности, качества работы основного оборудования систем.

Автоматизация систем теплоснабжения существенным образом зависит от принципов теплоснабжения, диктуемых уровнем развития и потребностями общества, рассмотрение которых позволяет ввести понятие ступеней управления теплоснабжением.

Так, на раннем историческом этапе существовало только индивидуальное ручное управление тепловыми режимами помещений. С появлением центрального отопления точка приложения управляющего воздействия переместилась в котельную, хотя при этом и оставалась возможность индивидуального управления тепловым режимом помещений.

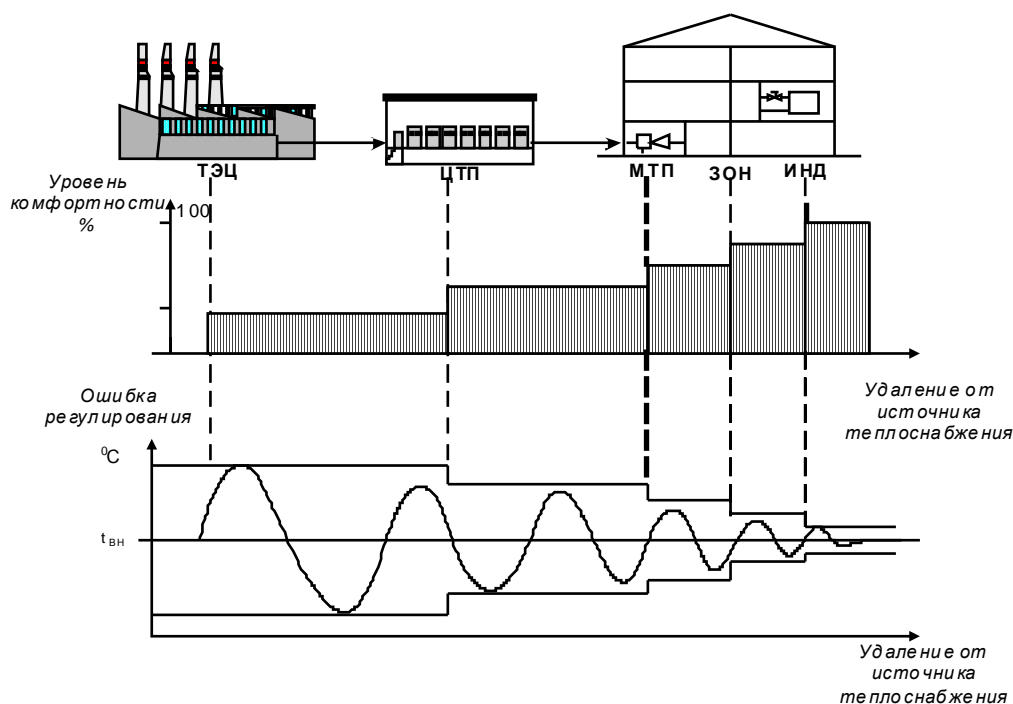
Внедрение централизованного теплоснабжения заставило вести процесс управления в его источнике, еще дальше отнеся точку приложения управляющего воздействия. Этот первый период становления автоматизации систем теплоснабжения характеризовался небольшой площадью застройки городов, малой и средней этажностью в основном массивных зданий из кирпича, небольшой протяженностью коммуникаций, незначительной долей нагрузок горячего водоснабжения и вентиляции и т. д. Все это позволяло системам теплоснабжения и отопления функционировать при низком уровне автоматизации.

Со временем, когда строительная промышленность встала на индустриальную основу, появились новые строительные материалы, снизилась массивность зданий, увеличилась воздухопроницаемость их ограждающих конструкций, возросла протяженность коммуникаций, а теплопотери современных зданий увеличились почти вдвое, возникла необходимость иного подхода к принципам автоматизации систем теплоснабжения и теплопотребления. При этом точка приложения управляющего воздействия опять стала перемещаться к потребителю - в центральные, местные тепловые пункты и т.п.

Характерные особенности автоматизации, связанные с функционированием системы «источник – преобразователь – потребитель» определяются комплексом применяемых технологических устройств и установок, непрерывностью процессов и взаимосвязанностью режимов в отдельных звеньях указанной цепи. Характер технологических процессов в этой цепи, в особенности гидроаэродинамических и тепломассообменных, нестационарен и сложен. Режимы отпуска теплоты и потребности в ней различны по отношению к определяющим параметрам - температуре наружного воздуха и времени. Так, например, потребление теплоты системой горячего водоснабжения (СГВ) не зависит от температуры наружного воздуха и существенно меняется в течение суток, а система же отопления имеет прямо противоположные характеристики. Уровень автоматизации определяется технологической схемой системы теплоснабжения (схема подключения, вид теплоносителя и т. д.) и принятым способом ее управления, кроме того, характеристики потребителя (тип, назначение, архитектурно-строительные особенности, требования комфорта и т. п.) зачастую играют решающую роль при определении схемы автоматизации.

В настоящее время принято многоступенчатое управление тепловым режимом потребителей, причем рациональное сочетание ступеней зависит от ряда факторов, определяемое пока на основе экспертных оценок. Различают следующие основные ступени управления (см. рис. 4.1): централизованное (на ТЭЦ, в котельной); групповое (в ЦТП); местное (в МТП, микрокотельных); зональное (пофасадное, поэтажное, секционное в зданиях); индивидуальное (в отдельных помещениях и малых зданиях).

Сочетание ступеней управления теплоснабжением влияет на уровень комфортности при этом чем ближе к потребителю управляющее воздействие, тем выше уровень тепловой комфортности, однако в это же время увеличиваются капитальные и эксплуатационные затраты, что обусловлено увеличением числа регулирующих устройств.



**Рис. 4.1 - Основные ступени управления систем теплоснабжения**

По отношению к температурному режиму в помещениях количественные или качественные воздействия, вырабатываемые системами автоматизации, на разных ступенях могут расцениваться только как управляющие. В связи с этим все системы автоматизации, в соответствии с теорией автоматического управления, в зависимости от исходных сигналов и принципов управления, которые были рассмотрены выше, можно классифицировать как системы (по отклонению, по возмущению, программные, комбинированные и др.).

Среди перспективных направлений развития теплоснабжения, влияющих на принципиальные решения в области автоматизации, необходимо отметить использование теплоносителей с высокими энергетическими параметрами, тепловых насосов, геотермальной, солнечной, ядерной энергий, энергии ветра и биомассы.

#### **4.2.1. Автоматизируемые параметры в системах теплоснабжения**

В системах теплоснабжения зданий основными технологическими процессами являются процессы отпуска, транспортирования, распределения и потребления тепловой энергии, горячей воды и пара. Эти процессы реализуются соответствующим оборудованием и агрегатами в основных звеньях системы теплоснабжения (тепловых источниках и распределительных сетях, насосных станциях, тепловых пунктах потребителей, нагревательных приборах в отапливаемых и вентилируемых помещениях).

Основными задачами, решаемыми системами теплоснабжения зданий, являются: бесперебойная подача потребителям тепловой энергии требуемого качества и количества, обеспечение высокой надежности и экономичности теплоснабжения.

Решение этих задач обеспечивается путем автоматического изменения или поддержания постоянных параметров технологических процессов теплоснабжения.

Основными параметрами, характеризующими процессы теплоснабжения зданий, являются:

- температура (подающей и обратной воды в тепловых сетях и у потребителей, воды для горячего водоснабжения, воздуха в отапливаемых и вентилируемых помещениях);
- давление, перепад давления (в трубопроводах воды, пара, в насосных агрегатах и установках теплоснабжения);
- уровень (воды в емкостях);
- расход и количество теплоносителя (воды, пара);
- расход и количество теплоты (отпущенной, потребленной).

Изменения и стабилизация указанных параметров обеспечиваются с помощью приборов и средств автоматизации, позволяющих решать следующие задачи:

- регулирование технологических процессов;



- управление оборудованием и агрегатами;
- контроль и измерение параметров;
- защита тепловых сетей и потребителей;
- блокировка агрегатов и оборудования;
- учет тепловой энергии и теплоносителя.

Рациональное оснащение приборами и средствами автоматизации оборудования и агрегатов системы теплоснабжения обеспечивает экономию топливно-энергетических ресурсов благодаря поддержанию наиболее экономичных режимов работы и учету теплопотребления, а также снижение трудовых затрат на обслуживание и наладку оборудования и агрегатов благодаря применению средств дистанционного и телемеханического контроля и управления.

Средства защиты и блокировки обеспечивают надежную работу звеньев системы теплоснабжения, предотвращая возможность разрушения теплопотребляющих установок и сооружений тепловых сетей.

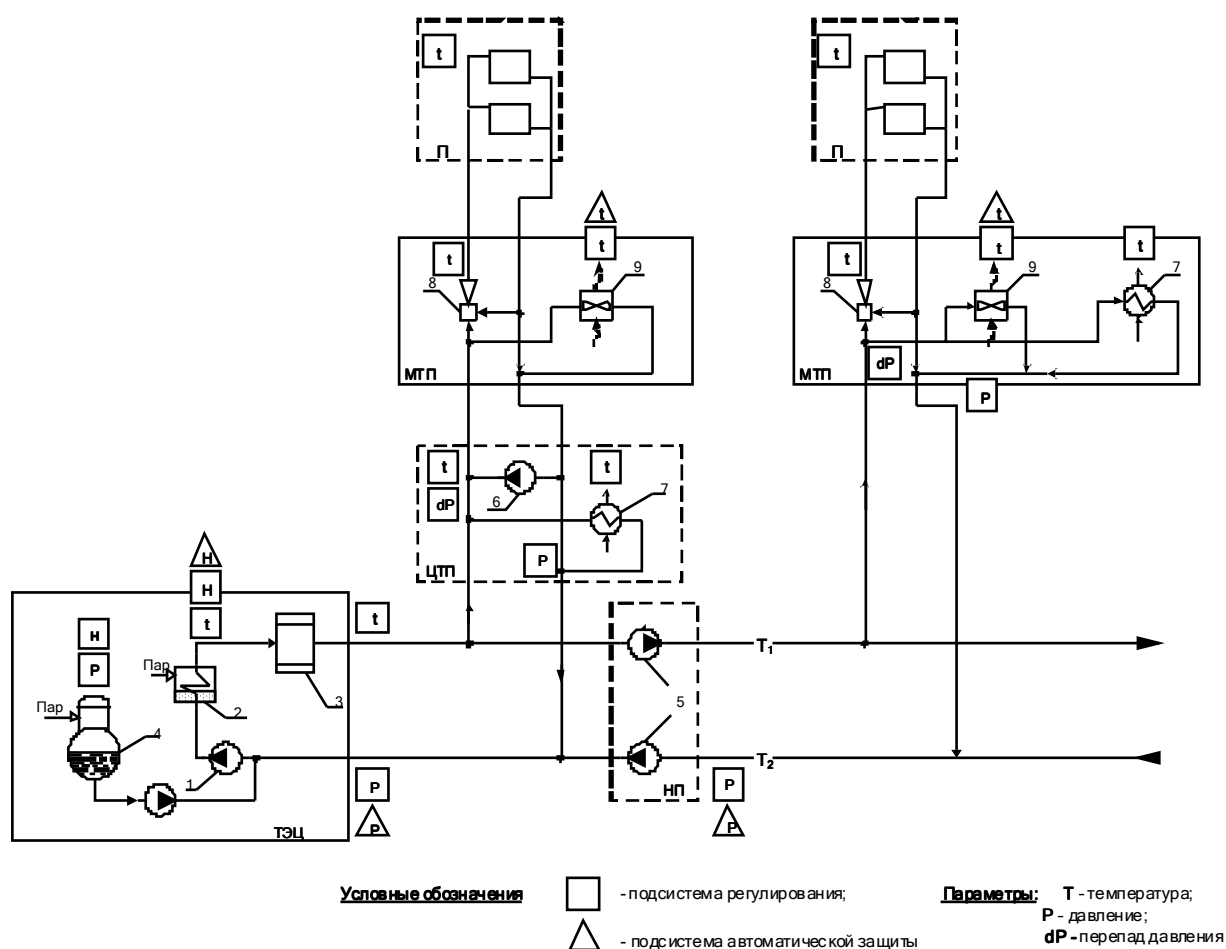
Отсутствие на отдельных участках системы теплоснабжения соответствующих средств автоматизации приводит, как правило, к существенному увеличению непроизводительных перерасходов тепловой и электрической энергии, пара, горячей воды; снижению качества отопления, вентиляции, горячего водоснабжения зданий; нарушению нормальной работы потребителей и сетей (опорожнение систем отопления, разрушение нагревательных приборов повышенным давлением, недопустимый перегрев потребителей). Отсутствие или недоукомплектованность средствами измерения и контроля приводит к увеличению затрат на обслуживание оборудования и агрегатов, а также к снижению качества наладочных работ.

Рассмотрим на примере упрощенной схемы системы теплоснабжения от ТЭЦ, приведенной на рис. 4.2, основные параметры управления и автоматической защиты соответствующих подсистем автоматизации.

На теплоподготовительной установке - ТЭЦ регулируется давление перед сетевыми насосами 1 и обеспечивается защита от повышения давления за

подогревателями 2 и котлами 3, регулирование уровня и защита подогревателей от переполнения и регулирование деаэраторов 4. В насосной подстанции (НП), помимо дистанционного управления насосами 5, поддерживается давление перед ними и предусматривается защита от повышения давления.

На примере двух вариантов присоединения абонентов через ЦТП и без него (только МТП) показано управление отпуском теплоты на отопление 8, вентиляцию 9 и горячее водоснабжение 7. В системе предусмотрены насосы смешения 6, обеспечивающие регулирование перепада давления с целью предотвращения гидравлического разрегулирования тепловой сети, а также давления в обратной магистрали. В отдельных помещениях (П) могут быть установлены индивидуальные терморегуляторы.



**Рис. 4.2 – Основные параметры автоматизации системы теплоснабжения**

#### **4.2.2. Принципы и схемы автоматизации систем отопления**

Системы отопления являются основными потребителями теплоты, поэтому к вопросу автоматизации систем отопления необходимо подходить комплексно с учетом функционирования остальных систем теплоснабжения. В практике автоматизации систем отопления различают различные подходы, связанные с типом источника тепла (центральное или индивидуальное отопление), количеством ступеней регулирования теплового комфорта, типом используемого оборудования и т.д.

Существуют два основных способа управления тепловым режимом зданий: пассивный — совершенствование строительных характеристик зданий, инженерного оборудования и архитектурно-планировочных структур, а также активный — воздействие на инженерное оборудование зданий, в том числе автоматическое. К числу пассивных способов снижения расхода теплоты следует отнести: оптимизацию теплозащиты ограждений, снижение инфильтрации и теплопотерь через светопрозрачные ограждения, рациональную планировку жилых и общественных зданий по высоте и в плане с использованием блоков помещений равной температуры, улучшение планировочных решений застройки и т.п. Мероприятия по автоматизации тепловых режимов зданий необходимо рассматривать как по отношению к новым, так и к реконструируемым фундаментам. В последнем случае решения могут быть хотя и вынужденными, но более рентабельными. Поэтому при разработке проектов автоматизации нужно обязательно учитывать сложность городских инфраструктур. Все это лишний раз подтверждает необходимость решения вопросов оптимального теплоснабжения системно, с уделением большого внимания физическим характеристикам объектов, т.к. их разнообразие, сложность тепло- и массообменных процессов, назначение, насыщенность системами инженерного оборудования во многом определяют эффект автоматизации.

Любые методы, способы и принципы управления должны быть направлены на обеспечение требуемого микроклимата в помещениях. Однако реализация этой главной задачи осуществляется разными системами автоматизации по-разному. Так, например, автоматизация МТП обеспечивает некоторую среднюю температуру здания и тем самым «коллективный комфорт», а индивидуальное управление – соответственно индивидуальный. При этом экономия теплоты для этих случаев может достигать 12%. В случае централизованного управления в МТП автоматизируется отпуск теплоты (в том числе, может быть, и на систему ГВС), при индивидуальном же управляют температурным режимом в помещении.

В настоящее время прослеживается тенденция использования индивидуальных микрокотлов и крышных котелен, работающих на газовом топливе. С одной стороны это позволяет достичь максимального комфорта в теплоснабжении отдельных потребителей, с другой – возникает необходимость автоматизации газового оборудования.

Автоматизация тепловых режимов основана на отмеченных выше четырех принципах управления: по возмущению; по отклонению; комбинированном и программном с использованием двухпозиционного, П-, ПИ- и ПИД- алгоритмов управления, используемых как в локальных средствах регулирования, так и в системах управления, построенных на базе микропроцессорной техники.

Современные средства автоматизации достаточно рентабельны, т.к. позволяют получить в целом экономию теплоты до 40%: за счет регулирования температуры воздуха в помещениях – до 15%; использования теплоты бытовых тепловыделений – до 8%; использования дежурных режимов отопления (снижение ночной температуры в административных зданиях, школах и т.д.) – до 12%; за счет оптимизации режимов отпуска теплоты – до 5%.

### 4.2.3. Автоматизация водяных систем отопления

#### *Централизованное теплоснабжение*

Автоматизацию систем централизованного отопления целесообразно рассмотреть применительно к МТП, т.к. они являются обязательным элементом в общей структуре системы теплоснабжения.

В общем случае, при отпуске тепла с МТП, температура воздуха внутри помещений является функцией нескольких переменных  $t_b = f(t_n, t_p, v, I, q, \varphi, G_T, t_{\dots})$ , причем каждый из аргументов может быть связан с другим, например  $G_T, t_T = f(G_{ГВ}, t_{ГВ})$  и т.д. Здесь  $t_T, t_{ГВ}, t_p$  – соответственно температуры теплоносителя, горячего водоснабжения, радиационная;  $v$  – скорость ветра;  $I$  – интенсивность инсоляции;  $q$  – бытовые тепловыделения;  $\varphi$  – влажность воздуха;  $G_T, G_{ГВ}$  – расходы теплоносителя.

Таким образом, для получения оптимального качества управления МТП необходимо измерить все возмущения или точно знать закон их изменения либо измерить отклонение  $t_b$  во всех помещениях. Очевидно, что оба эти варианта относятся к разряду технически сложно осуществимых.

Опыт эксплуатации и исследования автоматизированных систем отопления выявили основные методы управления с соответствующим формированием исходного сигнала о поведении объекта управления:

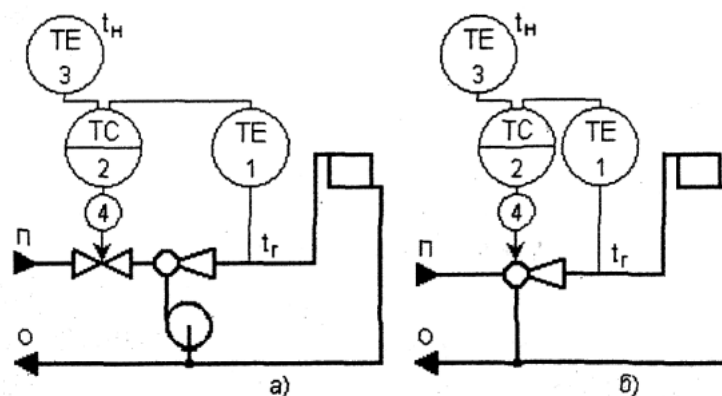
- регулирование по отклонению температуры в представительных (базовых, контрольных) помещениях, суммарный сигнал о тепловом состоянии которых с известной погрешностью соответствует нормативной температуре в любом из них;
- управление по возмущениям, из которых выбираются наружная температура, температуры (или разность температур) теплоносителя, инсоляции, скорость ветра и его направление, и другие, например температура прямого и обратного теплоносителей с коррекцией по температуре воздуха, измеренной в трех помещениях;

- комбинированное управление с измерением наружной температуры и суммарной температуры во всех помещениях, а также дополнительными коррекциями по температуре подающего теплоносителя и внешним воздействиям;
- управление с помощью физической модели здания с искусственным подогревом, в котором поддерживается некоторая температура, задаваемая моделью;
- управление программным отпуском теплоты — автоматическое выключение отопления на ночь, праздничные дни, периодическое отопление;
- управление по данным метеослужбы с помощью диспетчера;
- оптимальный отпуск теплоты на основе применения многофункциональных регуляторов, с помощью ЭВМ и микропроцессоров.

Управляющие воздействия могут быть приложены к дросселирующим регулирующим органам (клапаны, задвижки, поворотные заслонки), а также к управляемым насосам и элеваторам.

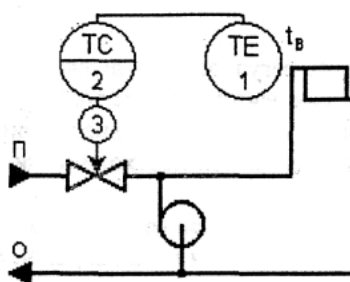
Традиционный принцип управления, применяемый на МТП, управление по возмущению, когда используется регулятор расхода подающего теплоносителя в зависимости от соотношения температур горячей воды и наружного воздуха, схемы которого приведены на рис. 4.3. Эти схемы позволяют увеличить коэффициент смешения элеватора по мере снижения расхода сетевой воды.

Помимо применения принципа управления по возмущению на МТП возможно использовать принцип по отклонению температуры воздуха в контрольных (представительных) помещениях здания. Функциональная схема автоматизации, соответствующая этому принципу представлена на рис. 4.4.



**Рис. 4.3 - Схема автоматизации местного отпуска теплоты на отопление:**

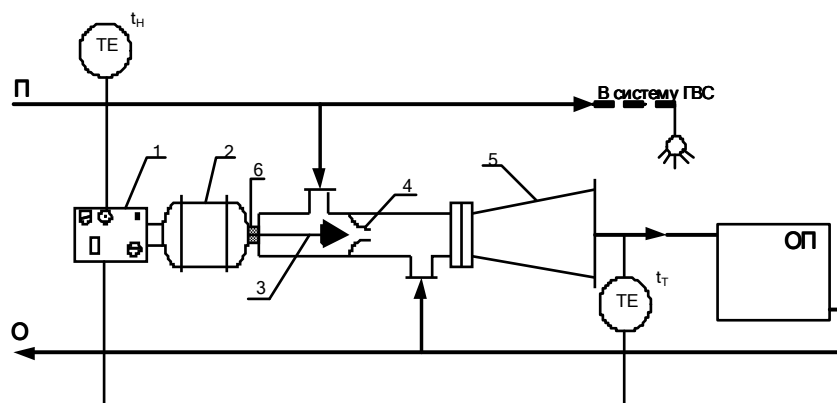
а- совместная работа элеватора и насоса; б- элеватор с регулируемым соплом;  
1,3 – датчики температуры горячей воды и температуры наружного воздуха, соответственно; 2 – регуляторы температуры; 4 – исполнительные механизмы.



**Рис. 4.4 - Схема автоматизации МТП по отклонению температуры в здании:**

1- датчик температуры в помещении; 2 – регулятор температуры;  
3- исполнительный механизм.

В настоящее время при автоматизации МТП широко используются регулируемые электронные элеваторы, например, «Электроника Р-1М», схема которого представлена на рис. 4.5.



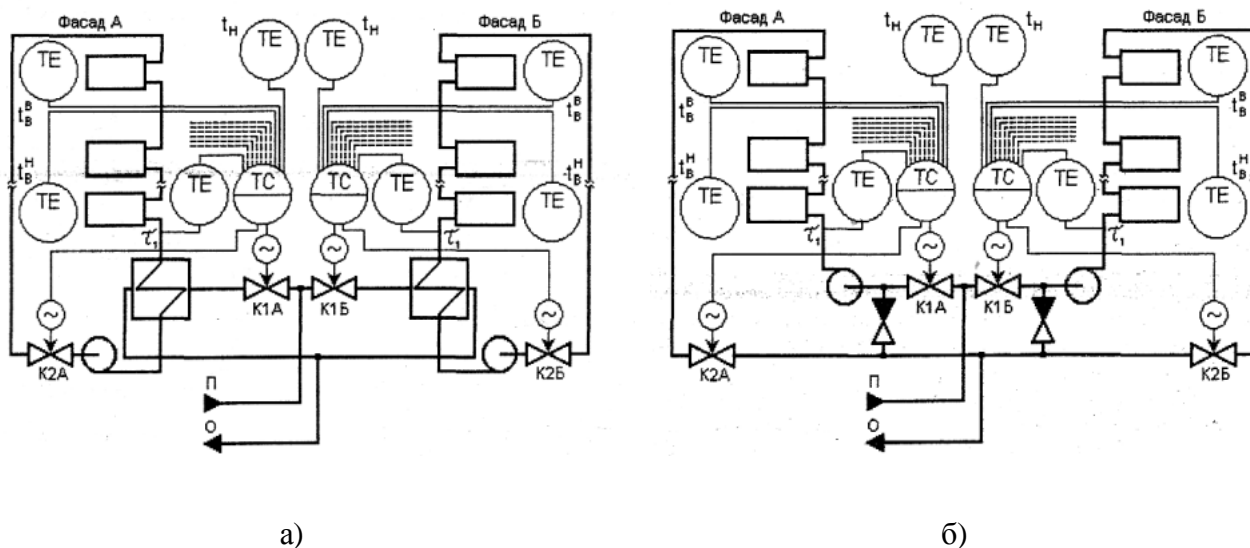
**Рис. 4.5 - Регулируемый элеватор «Электроника Р-1М»**

Этот элеватор состоит из электронного блока 1, формирующего ПИ-алгоритм регулирования, электрического исполнительного механизма 2, уплотнителя 6 и собственно элеватора 5, который имеет внутри сопла 4 регулирующий клапан (иглу) 3, механически связанный с исполнительным механизмом 2.

Регулирование элеватором осуществляется с точностью  $\pm 2^\circ$  за счет изменения положения иглы и соответственно коэффициента смешения в зависимости от температурного графика, форма которого определяется настройкой и суммированием сигналов от датчиков температуры наружного воздуха  $t_n$  и смешанной воды  $t_T$ .

Применение регулируемого элеватора дает возможность экономить около 10% годового расхода теплоты на отопление. Выпускаются элеваторы с диаметром сопла от 6 до 18 мм (через 2 мм) и теплопроизводительностью от 0,2 до 1,07 МВт при потребляемой мощности 12 Вт и массе от 26 до 50 кг.

Стремление приблизить управляющее воздействие к индивидуальному потребителю привело к появлению позонного отопления и, как следствие, разновидности местного — зонного управления, схема которого приведена на рис. 4.6 – а, б.



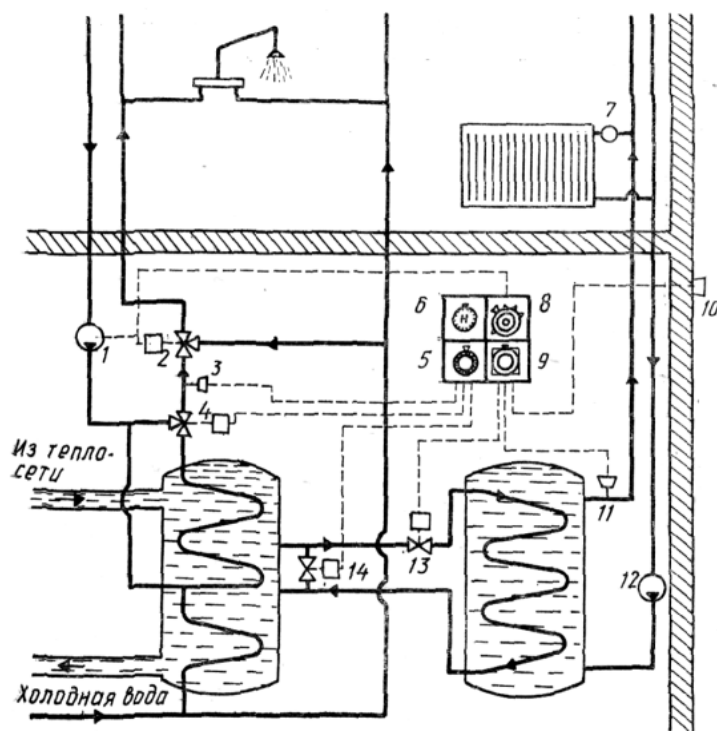
**Рис. 4.6 - Схема пофасадного регулирования отпуска теплоты на отопление:**

а- зависимое; б- независимое подключение системы отопления к тепловой сети.



На данных схемах представлены варианты автоматизации МТП со специализированными электронными регуляторами типа Т48-3 для случаев независимого и зависимого присоединения системы отопления к тепловой сети. В этом случае главным образом учитывается влияние ориентации зданий и этажности с соответствующими импульсами по возмущению.

Современные регуляторы, которые наилучшим образом могут использоваться, при автоматизации МТП обладают многофункциональностью и оборудуются оптимизаторами экономического режима. Конструктивно они выполняются на базе микропроцессорной техники. Примером такого регулятора может служить многофункциональный регулятор «Aquatrol», разработанный австрийской фирмой «Honeywell». Структурная схема автоматизации МТП при помощи системы «Aquatrol» показана на рис. 4.7.



**Рис. 4.7 - Применение регулятора «Aquatrol» при автоматизации МТП**

В приведенной схеме электронный регулятор имеет четыре блока: централизованного управления 6, управления горячим водоснабжением 5,

отоплением 9 и программирования 8. Блок горячего водоснабжения может быть заменен блоком управления вентиляцией. В схеме управления датчики температуры 3, 10 и 11 - термисторы, 1 и 12 - циркуляционные насосы, 2, 4, 13 и 14 - регулирующие клапаны с электромоторным приводом, 7- автоматический термостат. Блоки регуляторов формируют ПИ-, П- и И- алгоритмы управления, реле времени позволяет выключать системы на ночь и в любое другое время, может обеспечивать периодическое отопление.

В системах централизованного отопления *индивидуальное регулирование* является последней ступенью формирования микроклимата в помещении.

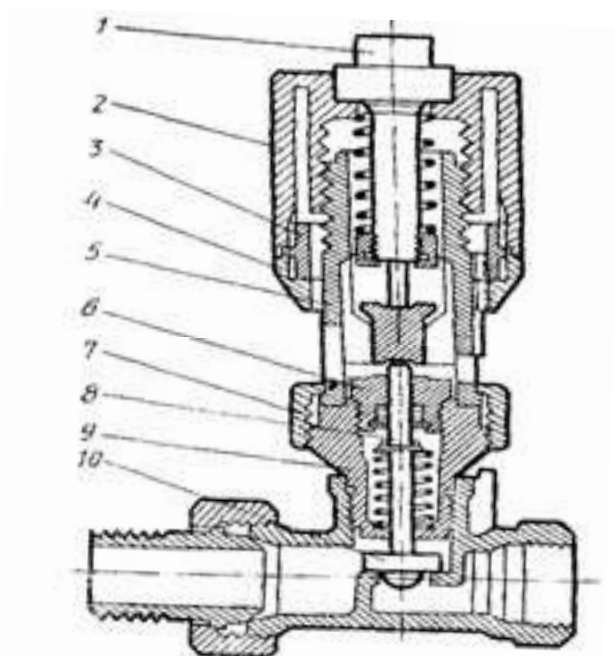
При индивидуальном регулировании микроклимата в помещениях обычно воздействуют на подвод теплоты (изменение мощности нагревательных приборов) и на отвод – проветривание, увлажнение и охлаждение, что осуществляется системами кондиционирования воздуха (СКВ).

Индивидуальное автоматическое регулирование (ИАР) позволяет учесть возмущающие воздействия, не учитываемые при централизованном, групповом и местном управлении, и обеспечить надлежащий тепловой режим помещений, только в сторону уменьшения температуры, за счет использования свободных теплоступлений. Однако есть возможность и повышения температуры, но при наличии запаса тепловой мощности системы отопления или при помощи доводчиков СКВ.

В ИАР главным образом получили распространение манометрические терморегуляторы прямого действия, и непрямого - электрические (изредка пневматические).

Сложилась определенная модель терморегулятора (термостата) прямого действия, который с небольшими видоизменениями выпускают многие зарубежные фирмы, такие как «Danfoss» (Дания), «ТА» (Швеция), «MNG» (Германия) и ряд других. Эти терморегуляторы, как правило, управляют теплоотдачей отдельных отопительных приборов, хотя встречаются схемы группового регулирования.

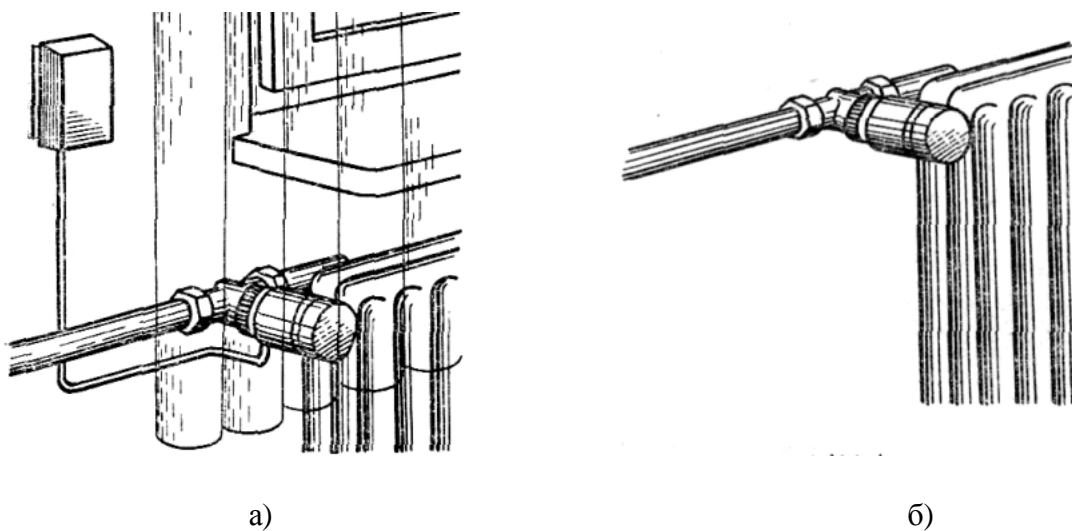
На рис. 4.8 показан разрез термостата «ТА», а на рис. 4.9 монтаж модификаций регулятора с различным исполнением чувствительного элемента - термобаллона, заполненного термочувствительной жидкостью или массой.



**Рис. 4.8 - Термостат RTV фирмы «ТА»**

На разрезе показаны: чувствительный элемент 1, задающий маховик 2, стопорное кольцо 3, кольцо с делениями шкалы 4, изолятор 5, накидная гайка 7, сальник с кольцевым уплотнением 6, шток и клапан 8 и 10, корпус 9. Принцип действия термостата - общепринятый. С увеличением температуры воздуха датчик из упругого материала деформируется и прикрывает клапан. Задающее воздействие на регулятор осуществляется поворотом маховика, который изменяет усилие сжатия задающей пружины.

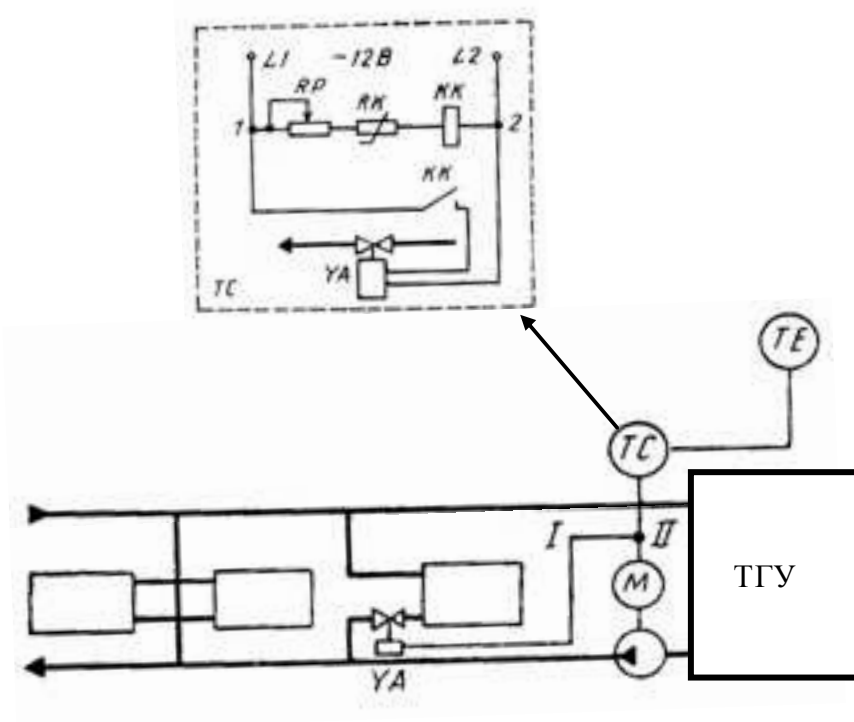
Как видно из рис. 4.9-а, датчик и задающее устройство термостата могут устанавливаться отдельно от корпуса термостата или же иметь единое конструктивное исполнение (рис. 4.9-б).



**Рис. 4.9 - Подключение датчика температуры к термостату:**

а- выносной датчик; б- встроенный датчик.

Из регуляторов непрямого действия при индивидуальном регулировании применяются устройства релейного типа, схема простейшего из них представлена на рис. 4.10.



**Рис. 4.10 - Индивидуальный электрический регулятор температуры**

Принцип действия регулятора состоит в изменении тока в управляющей цепи 1 - 2, в которую включены полупроводниковый терморезистор  $RK$ , задающий резистор  $RP$  и греющая обмотка термобиметаллического реле  $KK$ , контакты которого замыкают силовую цепь электромагнитного клапана  $YA$ . В нормальном режиме под действием силы тяжести клапан открыт, при достижении температуры воздуха в помещении заданного значения контакты реле замыкаются, включая соленоид клапана, который прекращает циркуляцию воды через нагревательный прибор (вариант I).

В случае поквартирного отопления (вариант II), характерного для частного домовладения, где используются индивидуальные теплогенерирующие установки (ТГУ), работающие на твердом, жидком или газообразном топливе, регулирование температуры при постоянных режимах может осуществляться путем включения – выключения регулятором  $ТС$  циркуляционного насоса.

### ***Индивидуальное теплоснабжение***

В настоящее время прослеживается тенденция использования микрокотлов в индивидуальных домах, а также малых и крышных котелен в многоквартирных домах и административных зданиях для индивидуального теплоснабжения.

Отличительной особенностью таких систем от систем централизованного теплоснабжения является наличие двух самостоятельных систем регулирования - САР ТГУ и САР отоплением и горячим водоснабжением.

Наиболее часто встречаются теплогенерирующие установки на газовом топливе, для которых важнейшей частью автоматического оборудования котельных установок составляет технологическая защита, или автоматика безопасности. В ее обязательные функции входит немедленное прекращение подачи газа к горелкам (отсечка газа) в следующих случаях: погасания факела в топке, повышения температуры теплоносителя свыше  $95^{\circ}\text{C}$  или нарушения циркуляции в системе отопления, падения разрежения в топке до 30 - 50 Па,

аварийного повышения или понижения давления газа, загазованности помещений котельной.

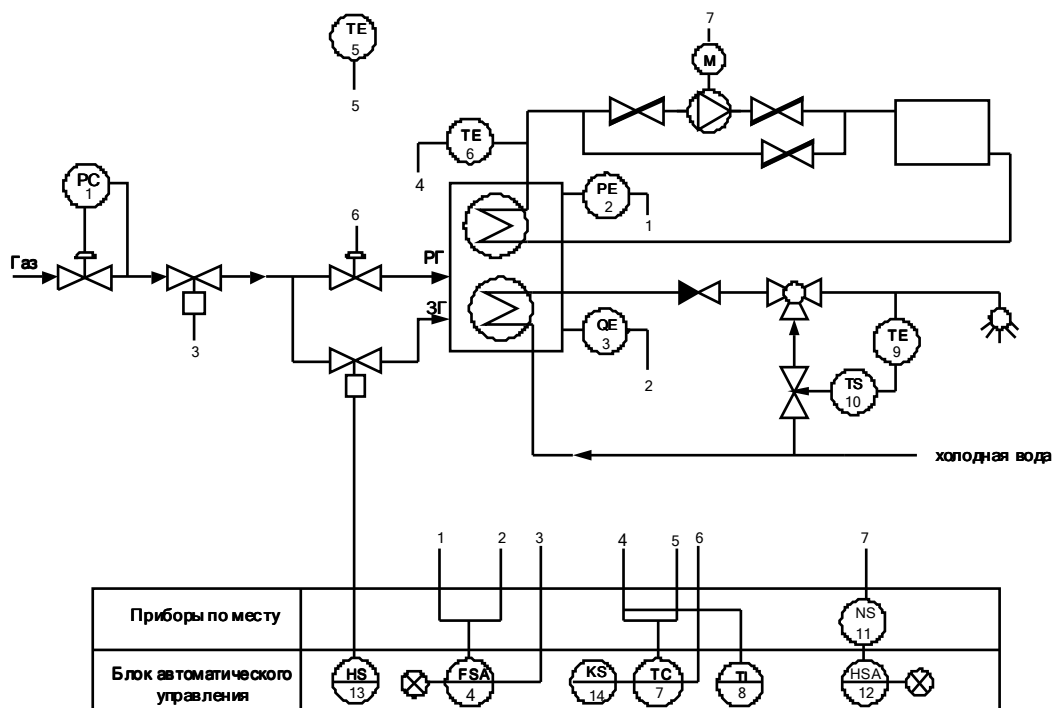
Автоматика ТГУ, как правило, является стабилизирующей, снабжена рабочим терморегулятором горячей воды, управляющим расходом топлива и воздуха (в случае принудительной подачи воздуха в топку). САР ТГУ, работающие на жидком и газообразном топливе, обеспечивают наиболее простой двух- или трехпозиционный режим воздействия на электромагнитные топливные клапаны для поддержания требуемой температуры горячей воды, хотя более надежная работа котельного агрегата имеет место при непрерывном регулировании. Помимо терморегулятора, ТГУ оборудуется средствами технологической защиты от перегрева воды, а также программным устройством для возможности периодической работы.

Во второй САР отоплением и горячим водоснабжением используются известные принципы регулирования отопительных систем с функционально различными регуляторами. Применяются также программные устройства с суточной, недельной программами, с коррекцией по температуре наружного воздуха, по температуре в помещениях, обратной воды и т. п.

В качестве средств автоматизации для ТГУ предпочтение отдают регуляторам прямого действия в сочетании с электронной автоматикой.

На схеме, приведенной на рис. 4.11 представлен вариант автоматизации небольшого двухконтурного водогрейного котла на газовом топливе.

В соответствии с этой схемой газовая автоматика состоит из регулятора давления газа прямого действия *РС* (поз.1) и системы защитной блокировки *FSA* (поз.4). Система блокировки прекращающей подачу газа в котел с помощью электромагнитного клапана в случае уменьшения давления разрежения в топке и погасании пламени по сигналам с датчиков разрежения *РЕ* и пламени *QE*, поз.2 и поз.3, соответственно. При срабатывании системы блокировки на блоке управления котлом включается сигнальная лампа.



**Рис. 4.11- Функциональная схема автоматизации двухконтурного водогрейного котла**

Розжиг котла осуществляется вручную с помощью кнопки *HS* (поз.13), включающей клапан газа на запальную горелку *ЗГ*.

В контуре отопления температура горячей воды регулируется при помощи регулятора температуры *ТС* (поз.7), получающей сигнал от термопары *ТЕ* (поз.6), работающего с коррекцией по температуре наружного воздуха, информация о которой поступает в регулятор от датчика *ТЕ* (поз.5). Управляющее воздействие регулятора температуры подается на клапан газа, поступающего на основную рабочую горелку *РГ*. К регулятору температуры может быть подключено программное устройство *КС* (поз.14), обеспечивающее работу регулятора по требуемым температурным графикам. Циркуляция воды в системе отопления осуществляется циркуляционным насосом, включаемого с пульта управления кнопкой *НС* (поз.12) снабженной сигнальной лампой. В случае выключения циркуляционного насоса горячая вода поступает в систему

отопления по байпасной линии за счет естественной циркуляции. На пульт управления котлом выведена информация о температуре горячей воды в системе отопления с помощью индикатора температуры  $TI$  (поз.8).

Второй технологический контур котла предназначен для горячего водоснабжения. Температура горячей воды в точке разбора регулируется за счет подмешивания холодной воды в смесителе путем включения – выключения клапана подачи, приводимого в действие регулятором  $TS$  (поз.10) по сигналу от датчика температуры  $TE$  (поз.9).

#### **4.2.4. Автоматизация систем горячего водоснабжения**

Качественную автоматизацию систем отопления невозможно осуществить без учета и регулирования отпуска тепла на систему горячего водоснабжения. При этом основная задача автоматического регулирования систем горячего водоснабжения - поддержание постоянной заданной температуры в местах её разбора. В идеальном случае это можно осуществить с помощью индивидуальных регуляторов температуры в каждом месте разбора горячей воды. Однако такое решение существенно усложнит эксплуатацию систем горячего водоснабжения и будет малоэффективным. В связи с этим индивидуальные регуляторы в местах разбора горячей воды устанавливают лишь в особых случаях.

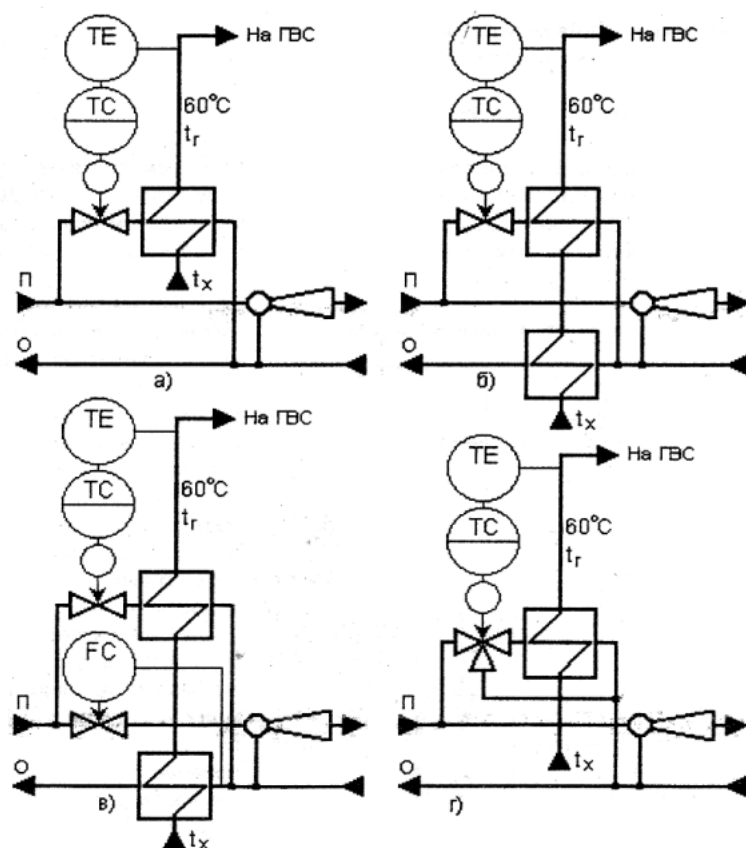
Как правило, автоматически поддерживают постоянную температуру воды ( $60^{\circ}\text{C}$ ) на узлах горячего водоснабжения в ЦТП. Однако постоянство температуры воды в местах разбора не гарантируется из-за остывания воды в разводящих трубопроводах. Указанный недостаток в значительной мере устраняется применением циркуляционных линий с насосами.

Для обеспечения качественного снабжения потребителей горячей водой необходима непрерывная работа циркуляционного насоса. Если работа насосов в ночное время не предполагается, то предусматривается их автоматическое выключение. При установке аккумуляторов для выравнивания графика отпуска



теплоты на горячее водоснабжение предусматривается автоматическое управление зарядкой этих аккумуляторов. Выбор схемы автоматического регулирования температуры воды на горячее водоснабжение определяется принятой системой теплоснабжения (закрытая или открытая).

При закрытой системе ГВС, когда на вводах горячего водоснабжения устанавливают водоводяные подогреватели, широко применяется схема регулирования температуры нагреваемой воды путём изменения количества сетевой воды (рис. 4.12-а, б, в), проходящей через подогреватель. Помимо этого существует схема разделения потока сетевой воды трёхходовым регулирующим клапаном на два - через подогреватель и по обводной линии (рис. 4.12-г).



**Рис. 4.12 - САР температуры горячей воды при закрытой системе ГВС:**

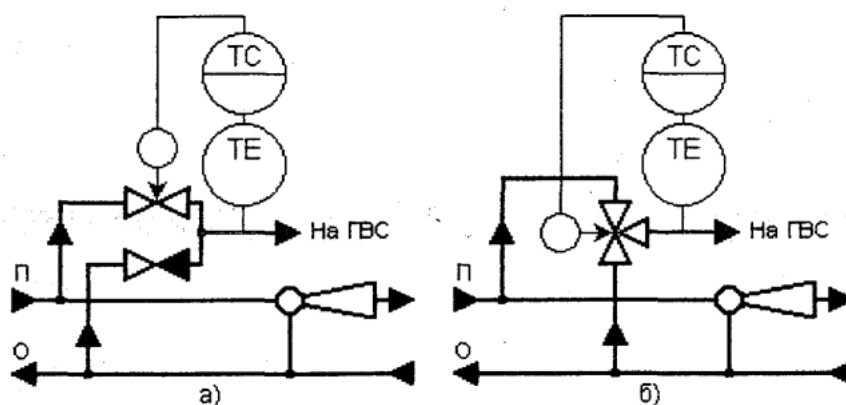
а- параллельная; б- смешанная двухступенчатая; в- двухступенчатая последовательная; г- с трёхходовым регулирующим клапаном.

При таком способе регулирования обеспечивается примерно постоянный расход сетевой воды, что частично или полностью исключает гидравлическую разрегулировку тепловой сети. Однако постоянство расхода сетевой воды приводит к завышению температуры воды в обратном трубопроводе тепловой сети в период малых нагрузок горячего водоснабжения.

При двухступенчатой (последовательной или смешанной) схеме включения подогревателей горячего водоснабжения регулирующей ступенью является вторая по ходу движения нагреваемой воды.

При открытой системе теплоснабжения на узлах горячего водоснабжения отсутствуют водоводяные подогреватели; горячая вода поступает к потребителям непосредственно из тепловой сети. Температура воды, поступающей в систему горячего водоснабжения, регулируется путем смешения потоков воды из подающего и обратного сетевого трубопровода.

В этом случае получили распространение схемы с установкой регулирующего клапана на подающем трубопроводе и обратного клапана на обратном трубопроводе (рис. 4.13-а) и с применением трёхходового регулирующего клапана смешения (рис. 4.13-б).



**Рис. 4.13 – САР температуры горячей воды в открытой системе ГВС:**

- а- с двухходовым регулирующим и обратным клапанами;
- б- с трехходовым регулирующим клапаном смешения.

#### **4.2.5. Автоматизация насосных установок**

Поскольку работа систем теплоснабжения неразрывно связана с работой сетевых и циркуляционных насосов, рассмотрим основные подходы при автоматизации насосных установок и станций.

Работа сетевых насосов связана с транспортированием больших объемов воды, что обуславливает большую инерционность тепловых сетей. В связи с этим устройства системы управления насосами и запорными органами насосных станций должна обладать высоким быстродействием. К таким устройствам систем автоматики могут быть отнесены дискретно работающие элементы, а также системы автоматических блокировок.

В зависимости от назначения насосной установки система автоматического регулирования должна обеспечить поддержание в требуемых пределах давления, расхода, температуры теплоносителя, а также автоматический или дистанционный пуск и останов насосов. При аварийной остановке рабочего насоса должно быть предусмотрено автоматическое включение резервного. Для дистанционного контроля за работой насосной установки предусматривается соответствующая сигнализация и при необходимости автоматическая запись давления, расхода и температуры теплоносителя.

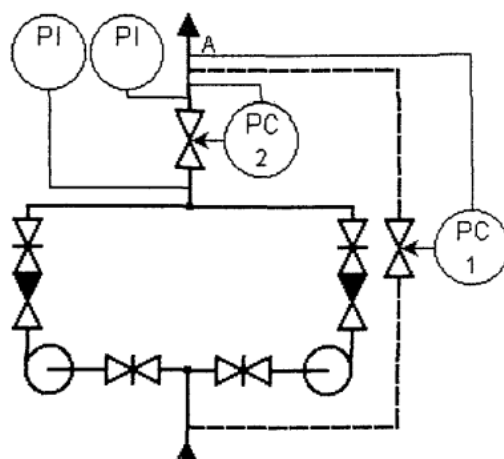
При автоматизации насосных установок необходимо иметь в виду, что аварийный останов сетевого насоса сопровождается резким повышением давления в обратной магистрали. Поэтому пуск резервных насосов должен предусматривать соответствующее открытие задвижек в линии нагнетания для восстановления нормального гидравлического режима и исключения гидравлических ударов в системе теплоснабжения.

Упрощенная схема автоматизации, обеспечивающая включение резервного насоса при аварийной остановке рабочего, приведена на рис. 4.15.



чувствительности регулятора давления. В этом случае искусственно увеличивают гидравлическое сопротивление сети путём установки диафрагмы 8, которая одновременно может служить датчиком перепада давления в системе измерения расхода теплоносителя.

Для автоматического поддержания постоянного давления теплоносителя на нагнетательной линии насосов может быть использована схема, приведенная на рис. 4.16.



**Рис. 4.16 - схема автоматического поддержания давления теплоносителя**

Основным элементом схемы является регулятор давления прямого действия 2, установленный на линии нагнетания насосов.

В зависимости от изменения давления в системе, регулирующий клапан открывается или закрывается, поддерживая постоянное давление в точке А. Постоянное давление в системе может поддерживаться также перепуском части теплоносителя в обратную линию. Для этого между прямой и обратной линиями теплоносителя монтируется перемычка (пунктирная линия), на которой устанавливаются регулятор давления прямого действия 1. При повышении давления в точке А клапан открывается, часть теплоносителя из прямой линии поступает в обратную и тем самым поддерживается постоянное давление в системе.

#### **4.3. Автоматизация систем газоснабжения и газопотребления**

Принципы автоматизации систем газоснабжения и газопотребления зависят от проводимых технологических процессов среди которых можно выделить следующие: транспортирование, хранение, сжигание или переработка газа в промышленных и бытовых условиях.

В состав систем газоснабжения входят:

- газопроводы и сооружений систем газоснабжения населенных пунктов (включая межпоселковые газопроводы, распределительные газопроводы, внутриквартальные газопроводы и вводы), подводящие газопроводы к предприятиям, тепловым электростанциям (ТЭС), котельным, автомобильным газонаполнительным компрессорным станциям природного газа (АГНКС);
- газопроводы и газовое оборудование промышленных и сельскохозяйственных предприятий, ТЭС, котельных, предприятий коммунального и бытового обслуживания населения, жилых домов и общественных зданий;
- газораспределительные станции (ГРС);
- газорегуляторные пункты и установки (ГРП, ГРПБ, ШРП и ГРУ), комбинированные домовые регуляторы давления газа, установки для получения газо-воздушных смесей;
- газонаполнительные станций (ГНС) и пункты (ГНП), промежуточные склады баллонов (ПСБ), стационарные автомобильные газозаправочные станций (АГЗС) и пункты (АГЗП), резервуарные установки, групповые и индивидуальные газобаллонные установки (ГБУ и ИГБУ), испарительные и смесительные установки сжиженных углеводородных газов (СУГ).

Системы газоснабжения населенных пунктов и отдельных потребителей газа должны обеспечивать надежное и безопасное газоснабжение, а также возможность оперативного отключения потребителей в случае аварийных ситуаций. Это в основном определяет специфику подсистем контроля, регулирования и автоматической безопасности для данных систем, причем

последней зачастую уделяется большее внимание, исходя из требований надежной и безопасной эксплуатации оборудования.

#### **4.3.1. Основные требования к автоматизации систем газоснабжения**

При проектировании автоматизации производственных процессов и средств КИП зданий и сооружений ГНС, ГНП, ПСБ и АГЗС следует руководствоваться требованиями СНиП II-39, СНиП 2.04.01, СНиП 2.04.05, СНиП 2.04.07, ПУЭ.

Комплекс средств автоматизации должен обеспечивать надежную и безопасную работу производственных отделений в соответствии с технологической схемой и предусматривать:

- контроль состояния основного и вспомогательного оборудования;
- автоматическое управление и защиту;
- сигнализацию о возникновении аварийных ситуаций.

Приборы и средства автоматизации, применяемые для взрывоопасных помещений и наружных установок, должны быть во взрывозащищенном исполнении, соответствующем категории и группе взрывоопасной смеси, образующейся в данной зоне.

Компрессоры и насосы должны быть оборудованы автоматикой, отключающей электродвигатели в случаях, предусмотренных в технических паспортах на них, а также в случае:

- загазованности помещения ( 0,5 НКПВ);
- повышения давления на нагнетательных линиях насоса или компрессора свыше 1,6 МПа;
- достижения максимального уровня в заполняемых резервуарах;
- повышения уровня в конденсатосборниках перед компрессорами;
- отключения вентиляции помещений;
- возникновения пожара.

Органы управления насосов и компрессоров (кнопки пуска и останова) устанавливаются у агрегатов и на пульте управления машиниста насосно-компрессорного отделения, который должен быть размещен в удобном месте для обзора всего помещения и защищенном от шума машин.

Испарители (теплообменники) следует оборудовать КИП, а также автоматикой, обеспечивающей отключение испарителя при понижении температуры теплоносителя на выходе из испарителя ниже 40 °С, при достижении уровня жидкой фазы 85 % в испарителе, а также при максимальном уровне газа в заполняемом резервуаре в случае заполнения резервуаров с помощью испарителей (теплообменников).

При повышении давления паровой фазы выше 1,6 МПа должна автоматически отключаться подача теплоносителя.

В помещениях насосно-компрессорной, наполнения и слива, дегазации баллонов, окрасочном, складов баллонов СУГ, а также в других помещениях, относящихся по взрыво- пожароопасности к категории А, предусматривается установка сигнализаторов опасной концентрации газа в воздухе помещения.

При достижении концентрации газа в воздухе помещений равной 20% НКПВ на щит оператора (диспетчера) должен подаваться предупредительный сигнал.

Во взрывоопасных зонах наружных технологических установок класса В-1г (сливные эстакады, наполнительные колонки) должны устанавливаться сигнализаторы довзрывоопасных концентраций. Один датчик сигнализатора устанавливается на две цистерны на нулевой отметке вдоль каждого фронта слива. При двухстороннем фронте слива датчики должны располагаться в шахматном порядке.

Сигналы о срабатывании сигнализатора довзрывоопасных концентраций должны подаваться:

- в операторную (диспетчерскую) - световой и звуковой;
- на открытую площадку - только звуковой.



Для подземных и надземных резервуаров СУГ предусматриваются КИП в соответствии с ДНАОП 0.00-1.07.

КИП подземных резервуаров устанавливаются над засыпной частью и предусматривается защита их от повреждений.

Общий контроль за ведением технологических процессов на ГНС и ГНП осуществляет диспетчер из диспетчерского пункта.

Объем информации, подаваемый на щит диспетчера с производственных участков, должен содержать:

- сигналы о работе насосов и компрессоров, о работе приточно-вытяжной вентиляции, о загазованности взрывоопасных зон, о пожаре;
- показания уровнемеров на резервуарах базы хранения.

Диспетчер должен иметь аппаратуру управления, позволяющую:

- отключать электропитание в насосно-компрессорном отделении и наполнительном цехе (при аварии, пожаре);
- включать на закрытие электроприводы задвижек на газопроводах;
- включать электродвигатели пожарных насосов.

#### **4.3.2. Регулирование давления и расхода газа**

Структура систем газоснабжения в зависимости от протяженности газопроводов числа потребителей (мощности) может быть одно-, двух- и многоступенчатой при распределении газа, в элементах которой происходит последовательное снижение (редуцирование) давления газа до рабочего. Используемые в газоснабжении регуляторы давления принципиально не отличаются друг от друга и от регуляторов общепромышленного назначения.

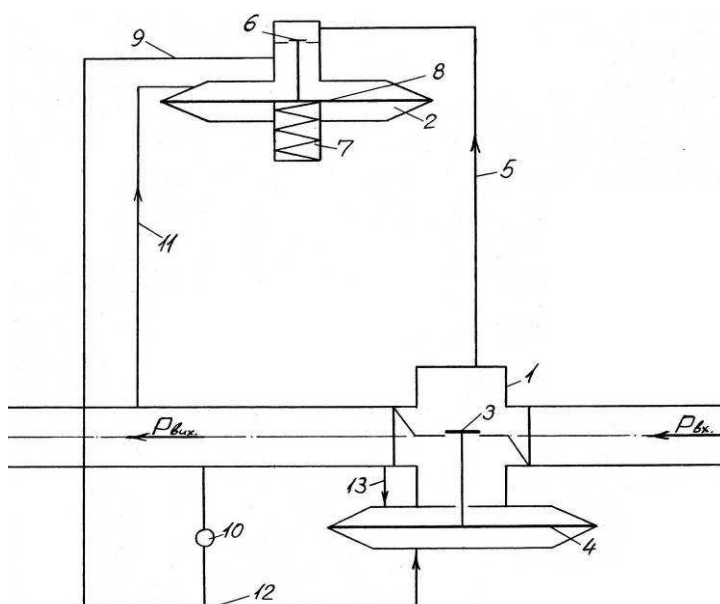
При непрерывном и любом по величине потоке газа регулятор поддерживает низкое давление за собой или высокое перед собой. Давление за регулятором всегда ниже за счет потерь энергии на дросселирование.

В настоящее время для регулирования давления газа применяется большое разнообразие регуляторов давления, среди которых различаются

регуляторы прямого и непрямого действия, регуляторы с усилителями (пилотами), а также комбинированные со встроенной предохранительной арматурой.

Рассмотрим на примерах конструкции и принцип работы нескольких регуляторов давления газа.

Регулятор типа РДУК-2 относится к регуляторам непрямого действия пилотного типа. Основные составные элементы регулятора давления: регулирующий клапан с мембранным приводом- исполнительный орган, регулятор управления- пилот, дроссели и импульсные трубки. Принципиальная схема регулятора давления приведена на рис. 4.17. На схеме обозначено: 1- исполнительный механизм; 2- пилот; 3- клапан регулирующего органа; 4 - мембрана регулирующего органа; 6- клапан пилота; 7-задающая пружина; 8- мембрана пилота; 10- дроссель постоянного сечения; 5, 9, 11, 12, 13- импульсные трубки.



**Рис. 4.17 – Схема регулятора давления типа РДУК-2**

Уравновешивание усилия от давления газа на мембрану, поступающего по импульсной трубке 13 с выхода регулятора осуществляется давлением, которое устанавливается вспомогательным устройством, называемое командным прибором или пилотом. Газ высокого или среднего давления из

надклапанной камеры поступает в регулятор управления 2. Далее газ проходит через клапан 6, двигается по трубке 9, проходит через дроссель 10 и поступает в газопровод потребителя после регулятора. Клапан 6, дроссель 10, трубки 5, 9 и 11 представляют собой усилительное устройство дроссельного типа.

В пилот газ поступает с входным давлением  $P_{вх}$ , после клапана 6 он получает давление задания  $P_x$ , а после дросселя постоянного сечения 10 давление газа становится равным выходному давлению  $P_{вых}$ . Давлением газа  $P_x$  регулируется работа исполнительного механизма.

В зависимости от положения клапана 6 командное давление  $P_x$  будет изменяться от значения  $P_{вых}$  (клапан 6 закрыт) до максимального значения  $P_{xmax}$  (клапан 6 полностью открыт).

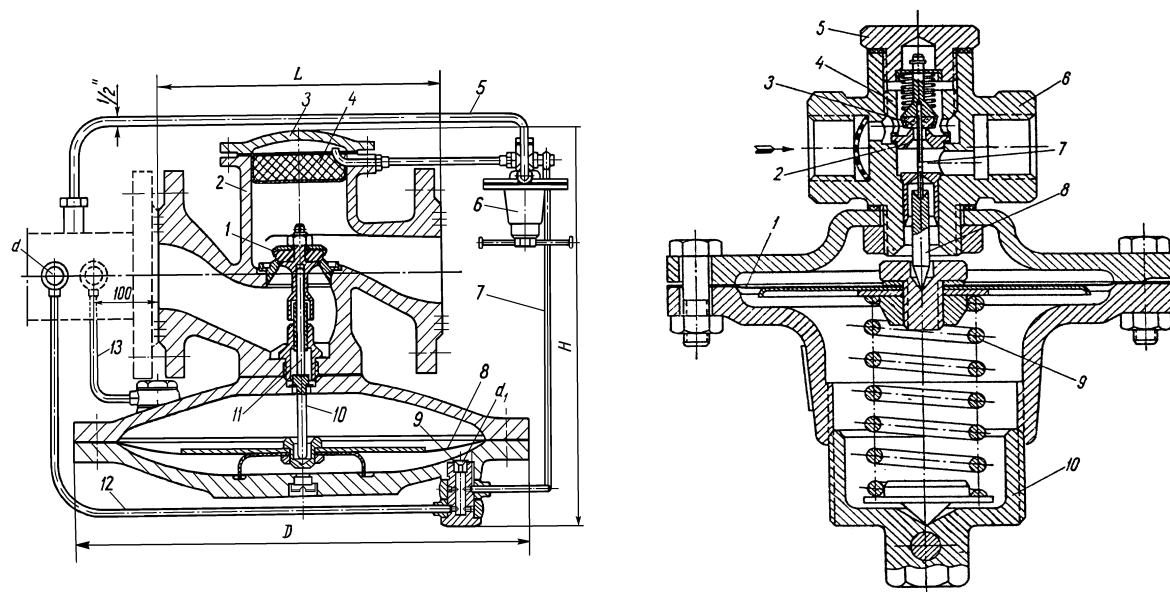
Таким образом, импульс изменения выходного давления газа воспринимается командным прибором регулятора, усиливается дроссельным устройством, преобразуется в командное давление газа  $P_x$  и передается по трубке 12 под мембрану исполнительного механизма, который перемещает регулирующий клапан 3. Так, например, если выходное давление газа увеличится, то клапан 6 пилота прикроется, командное давление уменьшится, мембранный привод 4 опустится, регулирующий клапан 3 прикроется. Вследствие этого выходное давление уменьшается, возвратившись к заданному значению. Над мембраной регулирующего клапана с помощью трубки 13 поддерживается выходное давление.

Конструкция регулятора давления газа РДУК-2 приведена на рис. 4.18.

Регуляторы давления типа РД-32М и РД-50М относятся к регуляторам давления газа прямого действия. Они обеспечивают с достаточной степенью точности постоянное давление газа "после себя" при изменении его расхода и входного давления.

В центр мембраны регулятора РД-32М и в корпус регулятора РД-50М встроен предохранительный клапан, который после закрытия основного клапана обеспечивает сбрасывание избытка газа в атмосферу. Сбросной клапан

при отсутствии расхода газа защищает сеть потребителей от недопустимого повышения давления.



**Рис. 4.18 – Регулятор давления газа РДУК-2**

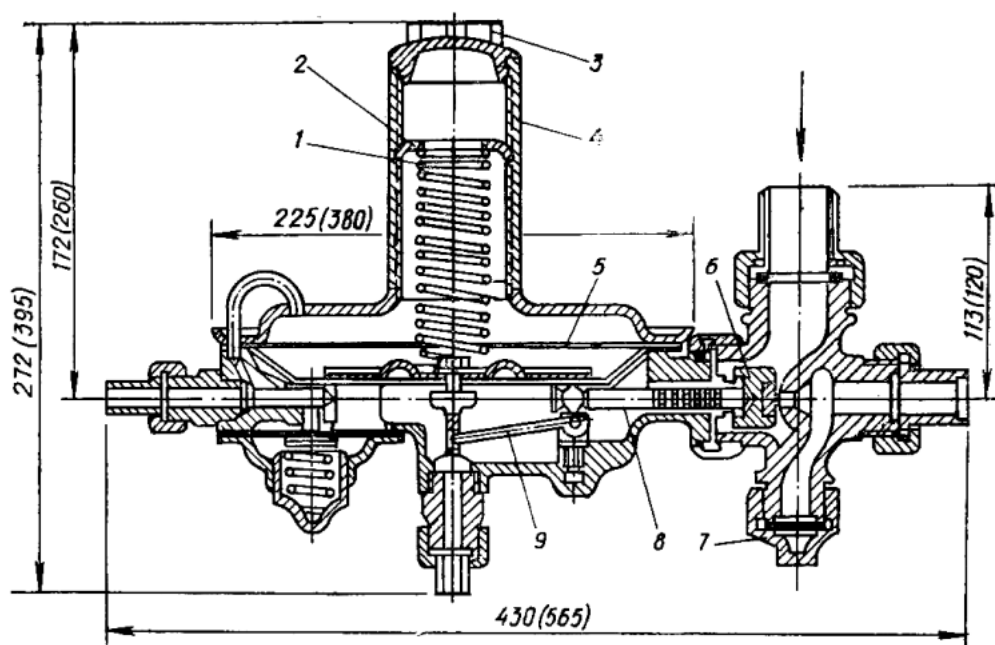
**а- общий вид регулятора:** 1– золотник одностарельчатый с мягкой прокладкой; 2– корпус; 3– крышка люка-ревизии; 4– фильтр; 5– импульсная трубка к пилоту; 6– пилот КН (КВ); 7– трубка для выхода газа из пилота; 8– рабочая мембрана; 9– дроссельное отверстие; 10– шток; 11– толкатель; 12– трубка сброса газа; 13– трубка для подачи импульса газа конечного давления.

**б- пилот:** 1– мембрана; 2– седло; 3– клапан; 4– нажимная втулка седла; 5– пробка; 6– корпус; 7– шпилька; 8– толкатель; 9– пружина; 10– стакан.

На рис. 4.19 приведена схема регулятора давления типа РД-50М. Эти регуляторы выполнены в виде соединенных накладными гайками мембранной камеры и чугунной крестовины с седлом и плунжером. Мембранная камера состоит из чугунного корпуса и крышки 4 с колонкой, между которыми помещена рабочая мембрана 5. На диск мембраны опирается регулировочная пружина 1, степень сжатия которой изменяется с помощью регулировочной гайки 2 при вращении винта. На конце штока 8 находится клапан 6, который перекрывает седло. Газ к седлу подводится прямо или сбоку по одному из каналов крестовины, которая с помощью накладной гайки (при заглушенном пробкой 7 другом канале) присоединяется к корпусу. Импульс выходного давления за регулятором по трубопроводу подается в подмембранную полость

мембранной камеры. При любом установившемся режиме работы регулятора его подвижные элементы находятся в равновесии. Усилие от входного давления на клапан, уменьшается рычажной передачей 9, а усилие пружины 1 уравнивается в каждом положении соответствующим давлением газа под мембраной. Если расход газа или входное давление изменяются, равновесие подвижной системы нарушается. Под действием большего по величине усилия мембрана 5 посредством рычажной передачи 9 передвигает клапан в другое равновесное положение, соответствующее новым значениям расхода или входного давления. В случае прекращения расхода газа давление газа после регулятора возрастает, что приводит к подъему мембраны и полному закрытию регулирующего клапана.

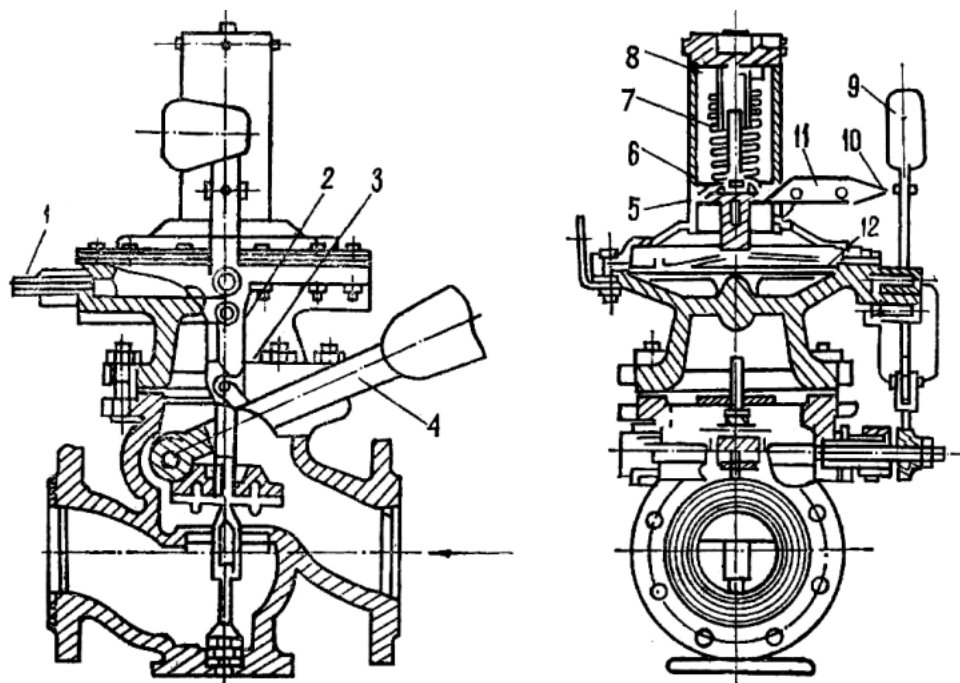
В случае чрезмерного повышения выходного давления газа из-за отсутствия его расхода в регуляторах РД-50М усилие от давления газа на маленькую мембрану сбросного клапана преодолевает усилие малой пружины и в результате происходит сброс части газа через отверстие в атмосферу, что прекращает дальнейший рост давления за регулятором.



**Рис. 4.19 – Регулятор давления газа типа РД-50М**

Системы газоснабжения безопасно и надежно функционируют при оснащении источников газоснабжения (ГРП, ГРС) устройствами предельного регулирования, к которым относятся автоматические запорные и сбросные клапаны, предохраняющие их от чрезмерного повышения или понижения давления. Предохранительные запорные клапаны (ПЗК) прекращают подачу газа к потребителю при повышении или понижении давления, а предохранительные сбросные клапаны (ПСК) стравливают газ в атмосферу при кратковременном повышении давления газа за регулятором, предваряя срабатывание ПЗК. Срабатывание ПЗК настраивают на отклонение давления газа от заданного до 25%, а ПСК – 15%. В отличие от ПСК, ПЗК не может самостоятельно возвратиться в рабочее положение. Только после проверки оператором состояния оборудования ГРП и соответствующего ремонта оператор вручную возвращает ПЗК в рабочее состояние.

Схема предупредительного запорного клапана типа ПКН (ПКВ) приведена на рис. 4.20.



**Рис. 4.20 - Предохранительный запорный клапан типа ПКН (ПКВ)**

В открытом положении клапан удерживается рычагом 4. Сам рычаг удерживается в верхнем положении при помощи штифта 3 и крючка анкерного рычага 2. Ударник 9 за счет штифта 10 упирается в коромысло 11 и удерживается в вертикальном положении. Импульс выходного давления газа через штуцер 1 подается в надмембранное пространство клапана и создает противодействие на мембрану 12. Перемещение мембраны вверх ограничивает пружина 7. Если давление газа повысится свыше нормы, то мембрана поднимется вверх и соответственно переместится вверх гайка 5. Вследствие этого левый конец коромысла поднимется вверх, а правый опустится и выйдет из зацепления со штифтом 10. Ударник, освободится из зацепления, упадет и ударит по концу анкерного рычага 2. Вследствие этого рычаг выйдет из зацепления со штифтом 3, и клапан перекроет проход газа.

Если давление газа снизится ниже заданного предела, то давление газа в подмембранном пространстве клапана станет меньше усилия, которое создается пружинной 7, опирающейся на выступ штока мембраны 12. Вследствие этого мембрана и шток с гайкой 5 переместятся вниз, двигая конец коромысла 11 вниз. Правый конец коромысла поднимется, выйдет из зацепления со штифтом 10 и вызовет падение ударника 9.

Автоматизация источников газоснабжения, таких как ГРП и ГРС идентична, хотя технологическая схема ГРС представляет собой более сложный объект автоматизации. Рассмотрим на примере автоматизации ГРС общие принципы автоматизации источников газоснабжения.

Система автоматизации ГРС предусматривает решение следующих основных задач:

контроля - давления газа на входе и выходе АГРС; перепада давления на фильтрах; температуры газа на входе и выходе подогревателей; уровня конденсата в дренажной емкости; уровня одоранта в рабочей емкости и в резервуаре; загазованности помещений; состояния переключающих кранов; количества газа, пропускаемого ГРС; несанкционированного доступа;

управления - регулирование выходного давления газа; управление узлом одоризации; переключение линий редуцирования; температурой нагрева газа; вытяжной вентиляцией; дистанционное управление кранами и регуляторами давления; аварийная остановка АГРС;

блокировки и сигнализации - отключение линий редуцирования (осуществляет ПЗК); сброс газа на свечу (осуществляет ПСК); сигнализация загазованности; охранная и пожарная сигнализация; сигнализация отклонения технологических параметров от нормы (уровни в емкостях, перепад давления на фильтрах).

Типовая схема автоматизации ГРС приведена на рис. 4.21.

Как видно из рисунка, система автоматизации ГРС представляет собой двухуровневую иерархическую систему управления, у которой связь между уровнями осуществляется с помощью системы линейной телемеханики (СЛТМ) по кабельным и беспроводным каналам связи. При этом на ГРС должен располагаться контролирующий пункт (КП СЛТМ), представляющий нижний уровень системы управления, а пункт управления (ПУ СЛТМ) – у диспетчера службы ГРС эксплуатирующей газотранспортной организации, где решаются задачи верхнего уровня.

В соответствии с приведенной схемой автоматизации, входное и выходное давление газа контролируется с помощью манометров поз.1 и поз.14, по показаниям которых осуществляется подача газа потребителю по байпасной линии. При помощи манометра поз.13 контролируется давление на выходе основной и резервной линии редуцирования ГРС.

Перепад давления на фильтрах газа контролируется и сигнализируется с помощью двухканального регистрирующего прибора поз.2б, расположенного на щите автоматики АГРС по сигналам от преобразователей давления поз.2а-1 и поз.2а-2. По этому параметру определяется степень загрязнения фильтров газа как по месту, так и дистанционно.



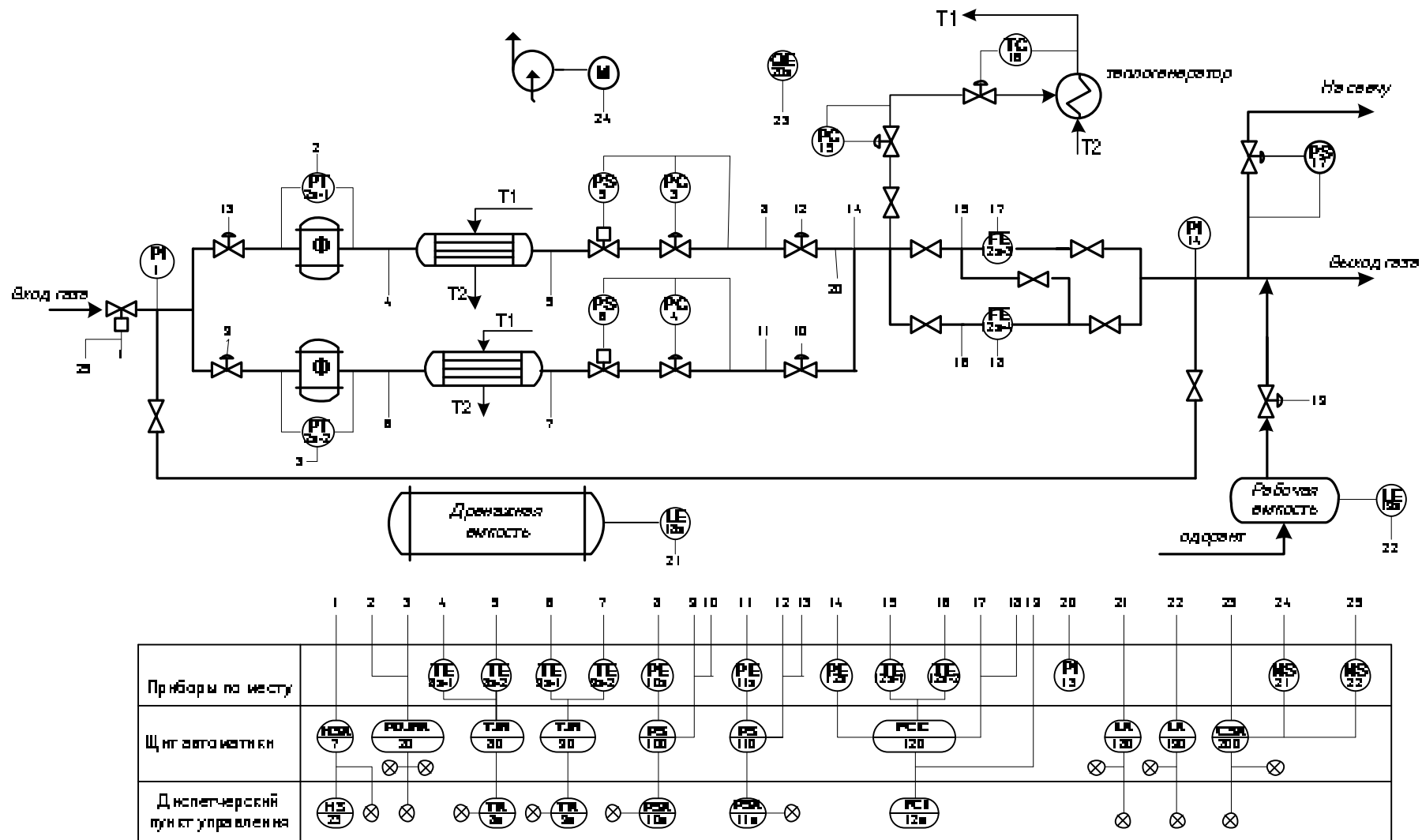


Рис. 4.21 - Функциональная схема автоматизации ГРС

Для контроля состояния теплообменных поверхностей подогревателей газа на ГРС, температура газа замеряется на их входах и выходах датчиками температуры поз.8а-1, поз.8а-2 и поз.9а-1, 9а-2, сигналы с которых поступают на вторичные регистрирующие приборы поз.8б и поз.9б. Сигнал о температуре газа в теплообменниках поступает через систему телемеханики на показывающие и сигнализирующие устройства поз.8в и поз.9в, расположенные на диспетчерском пункте управления.

Температура горячей воды, поступающей в подогреватели газа от теплогенерирующей установки, регулируется регулятором температуры прямого действия поз.16. Давление газа на собственные нужды АГРС (для системы обогрева) поддерживается регулятором прямого действия поз.15.

Регулирование давления газа в основной и резервной линиях редуцирования ГРС осуществляется при помощи регуляторов прямого действия поз.3 и поз.4.

При повышении (понижении) выходного давления газа от требуемого значения происходит отключение линий редуцирования за счет срабатывания предохранительных запорных клапанов (ПЗК) поз.5 и поз.6. Для предотвращения срабатывания ПЗК на ГРС предусмотрен предохранительный сбросной клапан (ПСК) поз.17, срабатывающий при повышениях давления на выходе АГРС.

На ГРС может предусматриваться автоматическое переключение линий редуцирования с основной на резервную и наоборот при нарушении режима редуцирования. Состояние линий редуцирования контролируется датчиками давления поз.10а поз.11а, сигнал с которых подается на автоматические переключатели поз.10б и поз.11б, выдающие импульс на отсечные клапаны, расположенные на входах и выходах линий редуцирования. Информация об автоматическом переключении линий редуцирования подается на сигнализирующие устройства поз.10в и поз.11в, расположенные на диспетчерском пункте управления.

Система учета газа состоит из расходомерного управляющего комплекса поз.12б, на вход которого поступают сигналы от датчиков расхода поз.12а-3, поз.12а-4 и датчиков температуры поз.12а-1, поз.12а-2, а также от датчика давления поз.12а. В зависимости от расхода газа расходомерный комплекс выдает управляющий сигнал на дозирующий клапан в линии подачи одоранта. Информация о количестве газа, проходящего через АГРС, поступает на измеритель поз.12б, расположенный в диспетчерском пункте управления, по каналам СЛТМ.

Уровень в рабочей емкости одоранта и в дренажной емкости контролируется с помощью датчиков поз.19а и поз.18а, сигналы с которых поступают соответственно на сигнализаторы уровня поз.19б и поз.18б, расположенные на щите автоматики ГРС, а также на диспетчерский пункт управления.

Для контроля загазованности в производственном помещении ГРС предусматривается использование двухпорогового газосигнализатора поз.20б, на который поступает сигнал с термохимического датчика загазованности поз.20а. При достижении уровня загазованности 20% нижнего концентрационного предела взрываемости (НКПВ) сигнализатор включает электродвигатель вытяжного вентилятора с помощью магнитного пускателя поз.21, а при достижении уровня загазованности 50% НКПВ сигнализатор приводит в действие электроприводную задвижку, расположенную на входе ГРС, отключая газораспределительную станцию от магистрального трубопровода. Коммутация электрических выходных цепей сигнализатора осуществляется по принципу «сухой контакт». Срабатывание сигнализатора по двум порогам загазованности отображается сигнальными лампами на щите автоматики ГРС и диспетчерском пункте управления. Дистанционное отключение ГРС при аварийных ситуациях может быть осуществлено как с диспетчерского пункта, так и со щита автоматики, с помощью электрических кнопок поз.23 и поз.7, соответственно.

Ориентировочный перечень комплекса технических средств автоматизации ГРС представлен в таблице 4.3.

**Таблица 4.3.**

**Средства автоматизации АГРС.**

№ поз.	наименование	тип	кол-во	примечание
1	2	3	4	5
1,13, 14	мано метр	ММС	3	
2а-1, 2а-2	преобразователь давления	САПФИР-22-ДД ex	2	$P_y=10$ МПа
2б	миллиамперметр	КСУ-4	1	сигнализатор
3,4	регулятор давления	РДУ-50	2	
5,6	предохранительный запорный клапан	ПКВ	2	$D_y=50$ 0,3-0,6 МПа
8а-1, 8а-2, 9а-1	термометр сопротивления	ТСМ	3	Гр.23
9а-2	термометр сопротивления	ТСМ	1	« »
8б, 9б	автоматический мост	КСМ-4	2	
8в, 9в	автоматический мост	КСМ-2	2	сигнализатор
10а,11а	преобразователь давления	САПФИР-22-ДИ ex	2	$P_y=1,2$ МПа
10б,11б	реле давления	РД-2	2	« »
10в, 11в	миллиамперметр	КСУ-2	2	
12а	преобразователь давления	САПФИР-22-ДИ ex	1	$P_y=1,2$ МПа
12а-1, 12а-2	термометр сопротивления	ТСМ	2	Гр.23
12а-3, 12а-4	диафрагма камерная	ДКН	2	
12б	расходомерный комплекс	«Флоутек»	1	
12в	миллиамперметр	КСУ-2	1	
15	регулятор давления	РДГ	1	$P_y=0,6$ МПа
16	регулятор температуры	РТ-200	1	$T=115$ °С
17	предохранительный сбросной клапан	ПСК-50	1	
18а,19а	уровнемер	ДУ-ВН	2	
18б,19б	миллиамперметр	КСУ-2	2	сигнализатор
20а	датчик газосигнализатора	ДТХ-127	1	
20б	газосигнализатор	ЩИТ-2	1	
21,22	магнитный пускатель	МП-1	2	
7, 23	кнопочная станция	ПКЕ-1	2	

### **4.3.3. Автоматизация газоиспользующих установок**

Помимо крупных потребителей газа, таких как котельные и ТЭЦ, к газоиспользующим установкам относятся промышленные печи и сушила, тепличные и животноводческие комплексы, а также бытовые установки - водоподогреватели и плиты.

Рациональное сжигание газа дает значительный экономический эффект при применении автоматизированных печей новых типов с использованием передовой технологии производства.

В машиностроении это нагревательные и термические печи, сушила в производстве строительных материалов широко используются газовые печи для обжига керамических изделий и т.д.

Основными регулируемыми величинами в этих агрегатах являются технологическая температура, разрежение или противодавление, соотношение топливо - воздух, состав среды в рабочей камере. Для термических печей применяют программные регуляторы, нагревательные печи оснащают регуляторами-стабилизаторами температуры. Используются следящие системы для обеспечения соотношения топливо - воздух, причем осуществляется первичное регулирование расхода воздуха с подстройкой расхода топлива. Автоматика безопасности отсекает подачу газа при погасании пламени горелок, нарушение тяги, прекращении дутья, недопустимом отклонении давления газа. Если температура в топке позволяет обеспечить безопасность при погасании пламени, то автоматическую отсечку газа не предусматривают, но с уменьшением разрежения при наличии дымососов или инжекционных горелок подачу газа необходимо прекратить.

Так, например, автоматизация сушильной камеры, схема которой приведена на рис. 4.22 позволяет снизить расход газа на сушку изделий, уменьшить количество вредных выбросов в атмосферу и сделать эксплуатацию более безопасной.

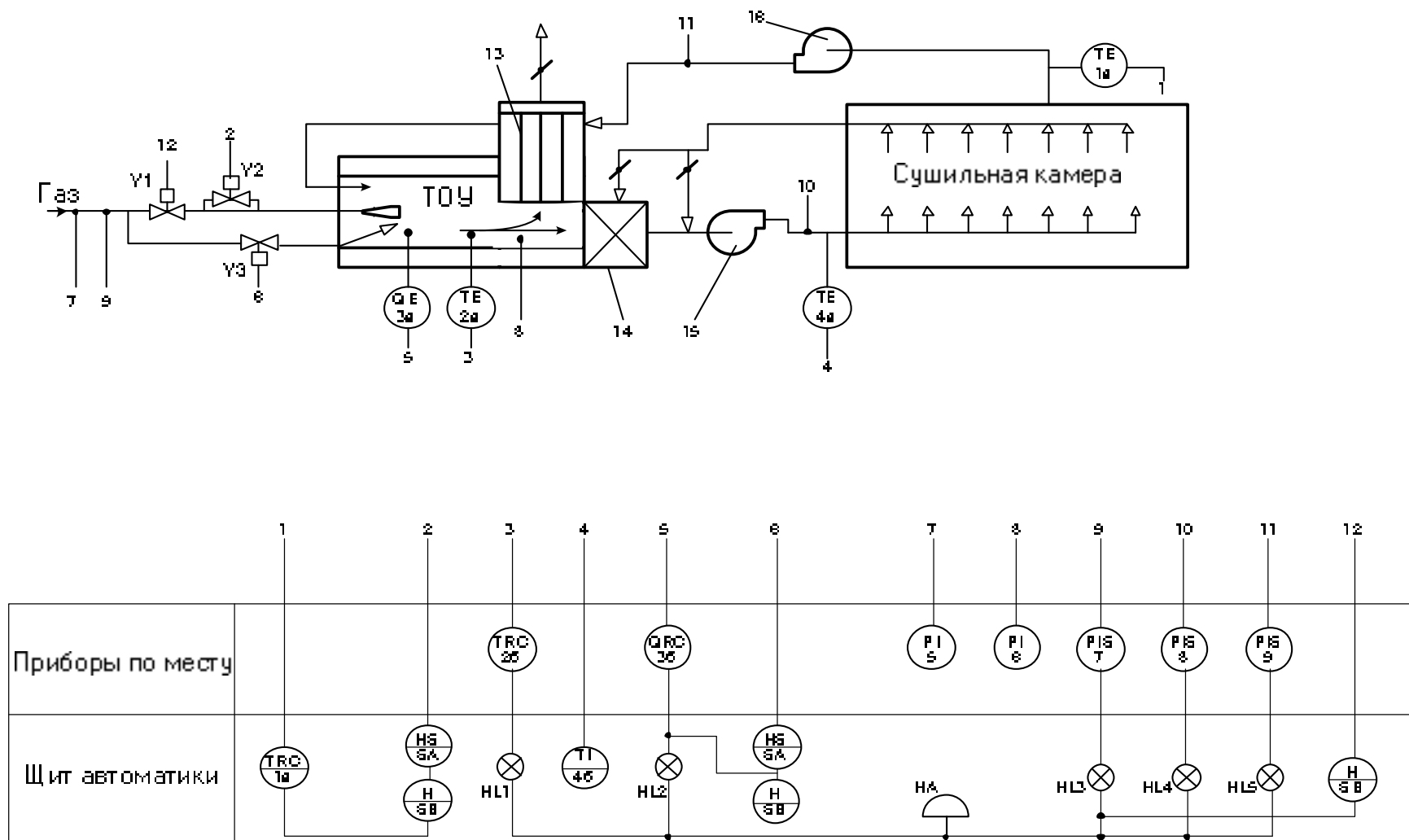


Рис. 4.22 – Функциональная схема автоматизации сушильной камеры.

Сжигаемый в технологическом объекте управления (ТОУ) с инжекционными горелками газ поступает в теплообменник 13 и смеситель 14 и вентилятором 15 направляется в сушильную камеру, газовые выбросы забираются вентилятором 16, подогреваются в теплообменнике и подаются в ТОУ вместо вторичного воздуха.

Для регулирования температуры сушильного агента в камере сигнал от термопары ТЕ (поз.1а) поступает в автоматический потенциометр TRC (поз.1б), который при помощи своего регулирующего устройства воздействует на электромагнитный клапан Y2, установленный, на байпасе газовой магистрали. Предельная температура в ТОУ поддерживается термопарой ТЕ (поз.2а) с регулирующим милливольтметром TRC (поз.2б), а запальное защитное устройство QRC (поз.3б) по сигналу от датчика погасания факела QE (поз.3а) воздействует на клапан Y3 и одновременно блокирует клапан Y1. Сигнал о температуре газов, поступающих в сушильную камеру, снимается термопарой (поз.4а) и передается на показывающий прибор, например милливольтметр, (поз.4б), расположенный на щите автоматики. Контроль давления производится с помощью манометра PI (поз.5) и тягонапоромера PI (поз.6). Датчики – реле давления (поз.7 и поз.8) предназначены для сигнализации и блокировки при недопустимых изменениях давления (разряжения) на входе и выходе газосмесительного тракта.

В бытовых газовых приборах в основном имеет место автоматика безопасности, предотвращающая аварийные ситуации технологического характера (вследствие колебаний давления, изменения состава газа нарушения тяги и т.п.) и возникающие в результате неправильного обслуживания установок. Долгое время автоматизация таких массовых потребителей газа как бытовые плиты, была сложной проблемой. Однако в настоящее время разработаны автоматические устройства, позволяющие безопасно эксплуатировать газовые плиты с обеспечением заданного температурного режима.

На газовых плитах типа ПГ4 - П14 для автоматического управления горелками духового шкафа устанавливается термостатический кран. Он состоит из двух блоков — регулирующего (терморегулятор) и автомата безопасности в виде электромагнитного клапана, работающего по сигналу термопары. Конструкция узла автоматики для таких газовых плит показана на рис. 4.23.

Терморегулятор А представляет собой термоманометрический регулятор прямого действия, термосистема которого (блок мембран 8, капилляр 9 и термобаллон 10) заполнена термочувствительной жидкостью «армотерм». При повышении температуры в духовке блок мембран перемещает регулирующий клапан 6, уменьшающий расход сжигаемого газа. Устройство работает на режимах автоматического и ручного регулирования. Рукоятка 3 крана 4 может занимать одно из 10 положений. В первом положении газ поступает к горелке, минуя дросселирующий клапан, через калиброванное отверстие дросселя 5, обеспечивая минимальную температуру. В других положениях одновременно с включением регулятора поворотом рукоятки настраивают плиту упорным винтом 7 с поджатием мембран на желаемую температуру в духовке.

Температурный электромагнитный клапан Б автоматически отключает подачу газа при случайном погасании пламени горелок. Нажатием на кнопку 2 открывается доступ газа в полость 1 корпуса автомата безопасности и через включенный кран 4 к основной или жарочной горелке. Через некоторое время (15 – 30 с) после розжига горелок нагреваются хромель-копелевые термопары 12, ЭДС которых (15 мВ) приводит в действие электромагнит 13, удерживающий якорь рабочего клапана 11 и газ свободно поступает к горелке. В случае погасания пламени электромагнит отпускает клапан, и подача газа прекращается. При розжиге плиты для разогрева термопары пусковая кнопка должна находиться в нажатом состоянии до срабатывания электромагнита.

Для автоматического запуска плиты используется комплекс АРК-БП-1,



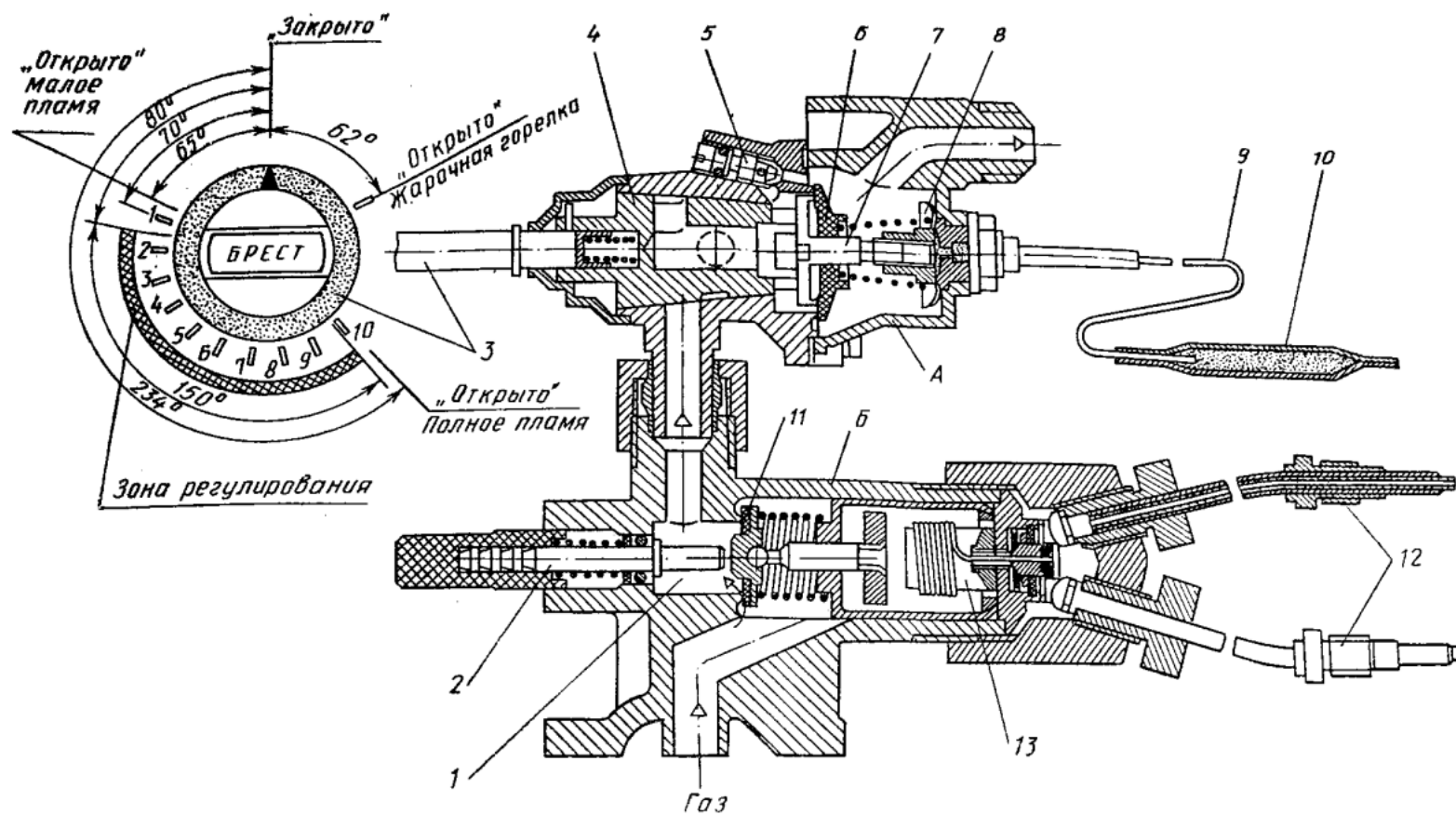


Рис. 4.23 – Узел автоматики для бытовых газовых плит.

который запускает горелки с помощью электрической спирали накаливания, отключает их при погасании запальника или основной горелки и обеспечивает повторный автоматический пуск после случайного погасания пламени основной горелки.

#### **4.3.4. Автоматизация при работе со сжиженными газами**

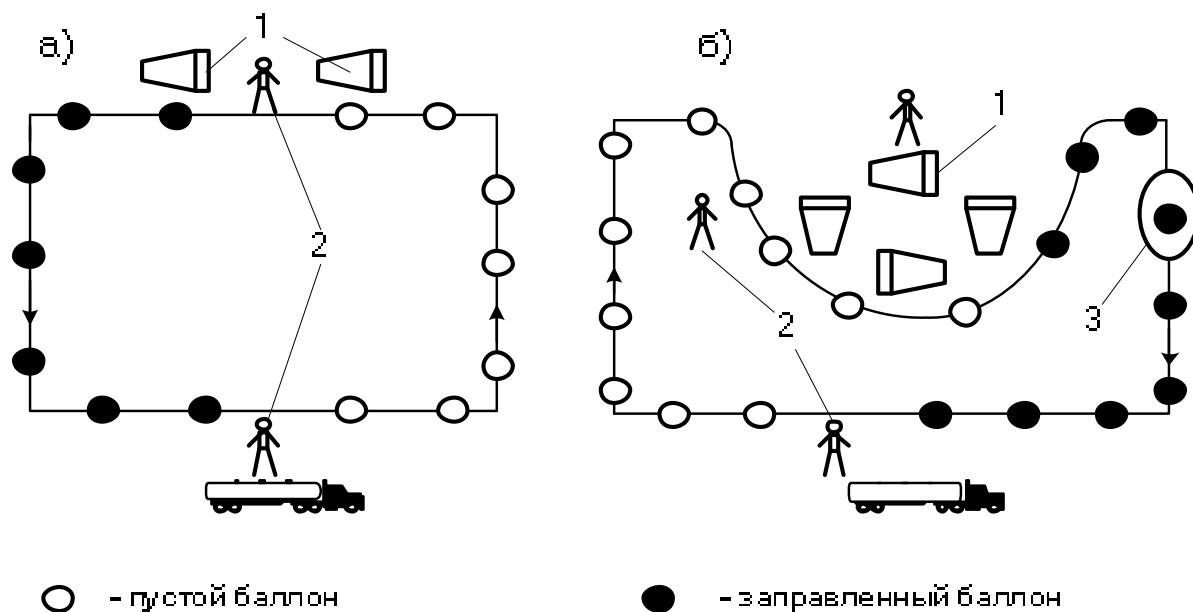
Повышение эффективности газовых хозяйств, осуществляющих прием, перемещение, хранение и распределение сжиженных углеводородных газов (СУГ), связано с внедрением средств механизации и автоматизации технологических процессов. Помимо указанных основных процессов, на газонаполнительных станциях (ГНС) и базах сжиженного газа (БСГ) производится слив газов из баллонов, транспортирование газа (по трубопроводам или в баллонах), ремонт баллонов. Кроме того может также осуществляться заправка автомобилей, работающих на СУГ, регазификация и смешение паров СУГ с воздухом, а также подача их или газовых смесей в системы потребления. Перемещение жидкой и паровой фазы на станциях и базах осуществляется насосами и компрессорами, хотя может применяться гидростатический слив с помощью подогрева и взаимного вытеснения.

Безопасная работа с СУГ обеспечивается установкой на оборудовании и трубопроводах автоматической арматуры и КИП. Трубопроводы паровой фазы оборудуются предохранительными пружинными клапанами. Предусматривается контроль уровня жидкого газа в резервуарах, его давления, температуры, наличия газа в воздухе, а также позиционное отключение газовых компрессоров по сигналу о разрежении ниже 0,05 МПа или давлении выше 1,6 МПа с помощью электроконтактных манометров. Для привода задвижек используется дистанционное управление.

Наиболее трудоемкой операцией на ГНС является заполнение баллонов СУГ в наполнительном отделении. Степень автоматизации зависит от оснащения средствами автоматизации и механизации процессов транспортировки, установки

и присоединения баллонов к источнику, их взвешивания, отсоединения, проверки утечек газа. Большинство из этих процессов проводится с вмешательством операторов, т.е. с использованием ручного труда.

Рассмотрим пример частичной механизации и автоматизации процесса наполнения баллонов с использованием конвейерного метода, схема которого приведена на рис. 4.24.

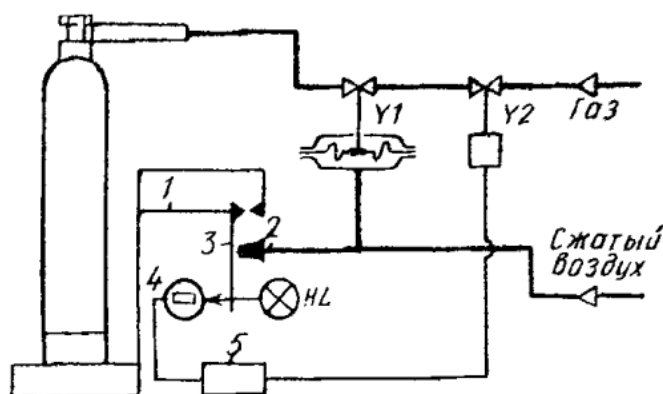


**Рис. 4.24 – конвейерный метод наполнения баллонов СУГ:**

а – последовательного взвешивания; б – с карусельным агрегатом.

Основной задачей при автоматизации в данном случае является транспортирование порожних и полных баллонов вдоль автоматических весов 1. В функции оператора 2 входит снятие порожнего баллона с конвейера, присоединение его быстродействующей струбиной к шлангу и возвращение на конвейер. При использовании метода с последовательным взвешиванием и с карусельным агрегатом работают от двух до четырех операторов. Цикл оборота карусельного агрегата составляет 3 - 5 минут. За это время оператор успевает подключить баллон. Отсечка газа производится автоматически, и взвешенный баллон направляется в водяную ванну 4 для проверки на герметичность.

Схема устройства весов с автоматической отсечкой подачи газа после заполнения баллона до заданной массы показана на рис. 4.25.



**Рис. 4.25 – Принципиальная схема автоматических весов для заправки СУГ**

В этой схеме совмещены элементы пневматической и электронной автоматики. Управляющим элементом является коромысло весов 1, на котором размещается заслонка 3 усилителя типа сопло - заслонка. Пока баллон не заполнен, воздух из сопла 2 выходит в атмосферу. Давление в подмембранной полости исполнительного механизма Y1 минимально, регулирующий орган открыт. При поднятии коромысла заслонка прикрывает сопло и рабочее давление энергоносителя от компрессора сжатого воздуха заставляет Y1 прекратить подачу газа. Аналогично работает электронная автоматика. Коромысло перекрывает освещение фотоэлемента 4, который через электронный усилитель 5 закрывает электромагнитный клапан Y2. Более совершенными механизмами являются карусельные газонаполнительные агрегаты типа КГА-МГП. В функции оператора входит лишь их настройка на заданный режим (масса СУГ и скорость движения), а также наблюдение за работой.

Кроме основных технологических процессов на ГНС механизмируются и автоматизируются также вспомогательные процессы: складские, погрузочно-разгрузочные и ремонтные работы (очистка, металлизация, окраска, гидравлические испытания и т.д.).

#### **4.4. Автоматизация систем вентиляции**

Принципы автоматизации систем вентиляции (СВ) в основном диктуются энергетическими затратами на обеспечение санитарно-гигиенических требований и теплового режима в помещениях. Среди существующих СВ различают системы с подогревом воздуха и без подогрева, причем это обусловлено с назначением вентилируемого помещения и самой вентиляционной системы. На принципы автоматизации СВ влияют также нормативные требования и параметры внешней и внутренней среды, производственная технология и ее режимы, вид теплоносителя, конструктивные особенности элементов СВ. Главными задачами автоматизации СВ являются обеспечение в помещениях и заданных точках системы требуемой температуры, подвижности, чистоты воздушной среды и необходимой кратности воздухообмена при экономном расходовании тепловой и электрической энергии. Поскольку на привод вентиляторов расходуется значительное количество электроэнергетических ресурсов, это ставит дополнительные задачи перед автоматизацией вентиляционных систем.

##### **4.4.1. Автоматизация вытяжных вентиляционных систем**

Для простейших вытяжных вентиляционных систем (ВВС), число которых в современных зданиях и сооружениях достаточно велико, основной подсистемой автоматизации является дистанционное управление приводом вентилятора. При наличии поворотных заслонок или утепленных клапанов в системах вентиляции обычно используют радиальные вентиляторы, которые запускают с закрытой сетью, а осевые - с открытой. Современные электродвигатели мало чувствительны к пусковым токам, поэтому в ряде принципиальных схем автоматизации такая блокировка отсутствует. В зависимости от того, является ли ВВС частью схемы технологического процесса или обслуживает его, последовательность включения ВВС и оборудования может быть различной.

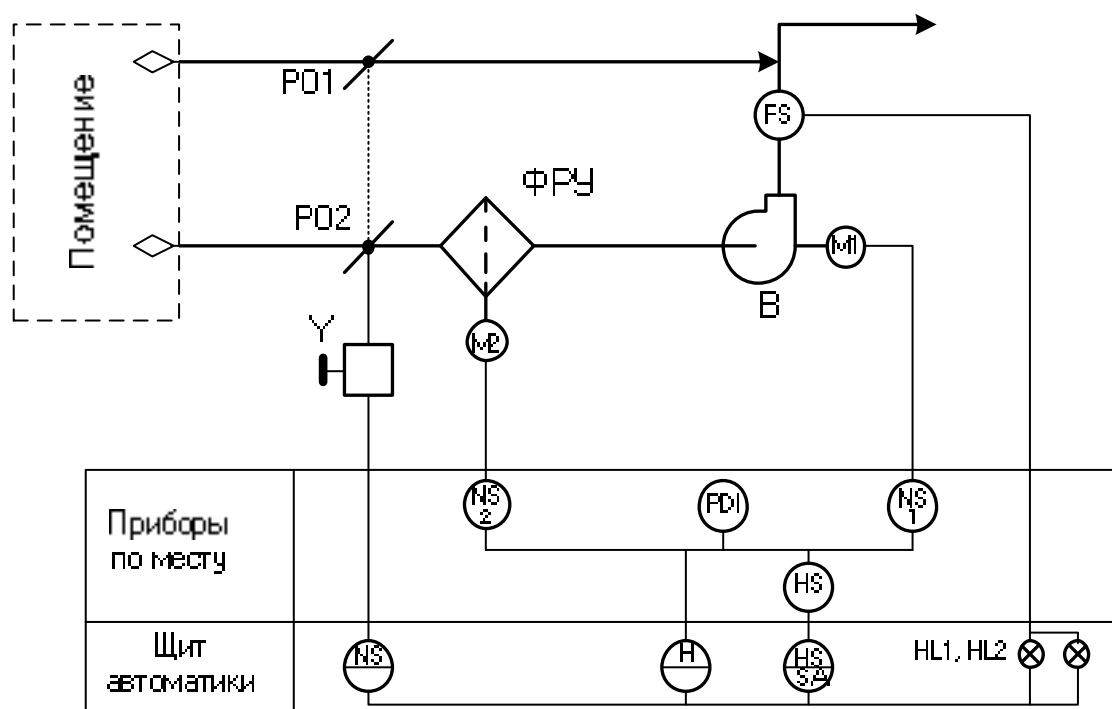
ВВС можно пускать раньше, одновременно или после пуска оборудования или же с определенной выдержкой времени, например на предварительное или послеоперационное проветривание и т.д. В схеме вентиляции по условиям технологии может быть предусмотрен резервный вентилятор, который сблокируется с основным. Для сохранения воздушного баланса иногда может потребоваться синхронная работа вытяжных и приточных систем вентиляции, но технически более сложной задачей является автоматизация нескольких вытяжных систем, работающих с одной приточной.

Для производств особо важными являются аварийные ВВС, которые должны автоматически включаться при внезапном и аварийном поступлении в воздух производственных помещений вредных или взрывоопасных веществ. В этих случаях в производственных помещениях устанавливают автоматические датчики-газоанализаторы предельных допустимых концентраций вредных веществ (ПДК), обеспечивающие автоматический пуск вентиляционной установки. Кроме того, аварийная ВВС должна автоматически включаться при остановке любой из штатных вентиляционных систем. Если предусмотрен резервный вентилятор, его блокируют с основным. При наличии в выбросных устройствах аварийной вентиляции клапанов последние должны быть с автоматическим приводом и сблокированы с аварийным и основным вентиляторами.

ВВС могут быть оборудованы различными фильтрами, в том числе с механическим приводом узлов и подачей воды (мокрые пылеуловители). Необходимо предусматривать блокировку пуска и остановки вентилятора с подачей и отключением воды, а также защиту при отсутствии или внезапном прекращении подачи воды. Работоспособность фильтра оценивают с помощью дифманометра по перепаду давлений до и после фильтра.

По требованиям технологии для экономии электроэнергии часто используются комбинированные ВВС, у которых механическая вытяжка совмещена с естественной.

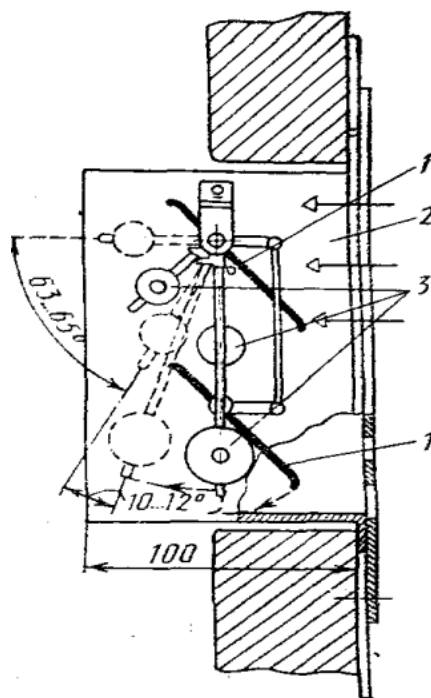
На рис. 4.26 показана функциональная схема автоматизации комбинированной ВВС с самоочищающимся фильтром ФРУ.



**Рис. 4.26 – Схема автоматизации комбинированной ВВС**

Электропривод фильтра блокируется с пуском вентилятора *В*. Поворотные заслонки *P01* и *P02* установлены так, что при аварийной остановке или по окончании работы автоматически сервомотором *У* открывается заслонка *P01*, обеспечивающая естественную вытяжку, а заслонка *P02* закрывается. Схемой предусмотрено местное и дистанционное управление, выбор которого осуществляется переключателем *HS*, а также контроль за работой установки при помощи реле потока воздуха *FS*, размещенного в воздуховоде. Необходимость такого контроля диктуется возможностью работы вентилятора при закрытой заслонке *P02*, когда сигнализация о нормальной его работе не будет соответствовать нормальной работе системы.

Для стабилизации вытяжки в помещениях жилых и общественных зданий при естественной и принудительной вентиляции применяются автоматические стабилизаторы расхода воздуха, схема которого приведена на рис. 4.27.



**Рис. 4.27 – Регулятор расхода воздуха для систем вентиляции**

Принцип действия такого регулятора основан на уравнивании грузами вращающего момента от действия динамического давления потока воздуха на поворотные заслонки 1, установленные в устьях 2 вентиляционных каналов в кухнях и санузлах. Особенностью конструкции является наличие нескольких последовательно противодействующих грузов 3, сочетание которых позволяет регулировать расходы в диапазоне от 50 до 130 м<sup>3</sup>/ч. К техническим средствам автоматизации вытяжных систем можно также отнести самозакрывающиеся и самооткрывающиеся противопожарные клапаны.

При необходимости утилизации теплоты выбрасываемого воздуха в состав ВВС могут входить устройства вторичного использования теплоты, например регенеративные теплообменники с вращающимся ротором, получающие все большее применение в системах вентиляции и СКВ. Температура подаваемого воздуха регулируется путем изменения частоты вращения ротора, для привода которого используют асинхронные электродвигатели с электронной системой управления.

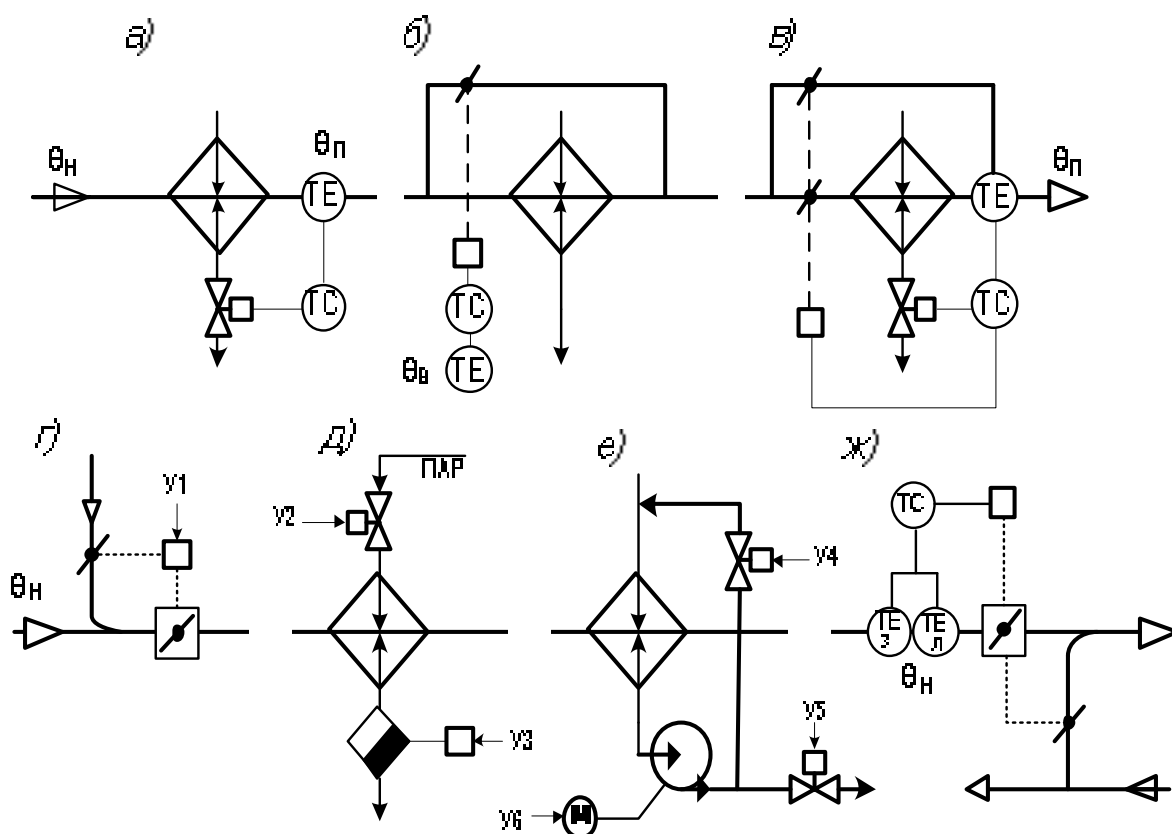


#### 4.4.2. Регулирование температуры воздуха в системах вентиляции

Для обеспечения заданного температурного режима при вентиляции помещений применяют два основных способа регулирования, когда наружный воздух проходит через воздухонагреватель или смешивается в определенной пропорции с рециркуляционным. При наличии регулируемой (воздух) и регулирующей (теплоноситель) сред управляющее воздействие может быть направлено на изменение тепловой мощности воздухонагревателя или объема проходящего воздуха. Методы управления воздухонагревателями зависят от технологических схем, их обвязки (число секций, участвующих в процессе управления), а также алгоритма управления - изменение расхода теплоносителя (параллельное, ступенчатое, позиционное, непрерывное, с полным или неполным притоком).

Зачастую алгоритм управления температурой воздуха зависит от применяемого в системе вентиляции теплоносителя, схемы которых для различных случаев приведены на рис. 4.28.

При теплоносителе воде регулирующий орган устанавливается на обратном теплопроводе (рис. 4.28-а). В этом случае закон регулирования непрерывный. При теплоносителе паре регулирующий орган действует обычно по позиционному закону  $u_2$  и устанавливается на подающем теплопроводе (рис. 4.28-д). При отоплении воздухонагревателей конденсатом, т. е. изменении активной поверхности, управляющее воздействие  $u_3$  прикладывается к автоматическому конденсатоотводчику (рис. 19.4-д). Кроме того, можно подмешивать ( $u_4 - u_6$ ) обратную воду к горячей. Для чего устанавливают циркуляционный насос с регулируемой частотой вращения или смесительные клапаны соленоидного типа (рис. 4.28-е).



**Рис. 4.28 – Схемы регулирования температуры в системах вентиляции**

Помимо воздействия на расход и характер течения теплоносителя влияние на температурный режим может быть достигнуто изменением соотношения объемов воздуха, идущего через воздухонагреватель и минуя его, путем управления поворотными секционными заслонками (рис.4.28-б,в). Этот метод часто используют при теплоносителе-паре.

Каждый из перечисленных методов может применяться самостоятельно и в комбинации с другими. Наиболее распространенным в практике является метод изменения расхода теплоносителя в сочетании с перепуском воздуха в обход воздухонагревателя (рис. 4.28-в). Возможно, хотя технически труднее реализуемо регулирование температуры теплоносителя.

Все эти методы относятся к *качественному* регулированию, т. е. изменению температуры приточного воздуха при неизменном его расходе. Заданную температуру внутреннего воздуха можно обеспечить, применяя регулирование по *количественному* принципу - изменению расхода

приточного воздуха. Гибкость эксплуатационных режимов, меньшая инерционность объекта, сокращение затрат теплоты и электроэнергии сделали этот метод перспективным при решении ряда технических вопросов, что нашло свое применение в системах кондиционирования воздуха (СКВ). Наибольший эффект по приведенным затратам можно получить от применения направляющих аппаратов и многоскоростных электродвигателей.

При количественном регулировании совместно работающих приточных и вытяжных систем обычно необходимо синхронизировать работу приточных и вытяжных вентиляторов. При этом для поддержания некоторого подпора воздуха в вентилируемом помещении подача вентиляторов изменяется регуляторами, получающими командный импульс по давлению (разряжению).

При регулировании температуры в системах вентиляции датчики температуры в помещении необходимо размещать в местах с достаточной циркуляцией, но с защитой от приточного воздуха и облучения от нагретых поверхностей. Этот способ установки рекомендуется в тех случаях, когда закономерности изменения температурного режима носят случайный характер (см. рис. 4.28-б).

Известны схемы управления вентиляционными установками по возмущению и комбинированным способом, при которых сигнал поступает от датчика температуры наружного воздуха. Они используются в смесительных устройствах (см. рис. 4.28-г) с применением рециркуляции при возможности перенастройки на летний и зимний режимы. Так, например, датчик  $TE(L)$  регулятора (рис. 4.28-ж) воспринимает повышение температуры  $\theta_H$  летом и перемещает заслонку наружного воздуха  $H$  на закрытие, а заслонку рециркуляции  $P$  - на открытие. Зимой датчик  $TE(З)$  при снижении температуры  $\theta_H$  закрывает  $H$  и увеличивает рециркуляцию путем открытия заслонки  $P$ .

#### 4.4.3. Автоматизация приточных вентиляционных систем

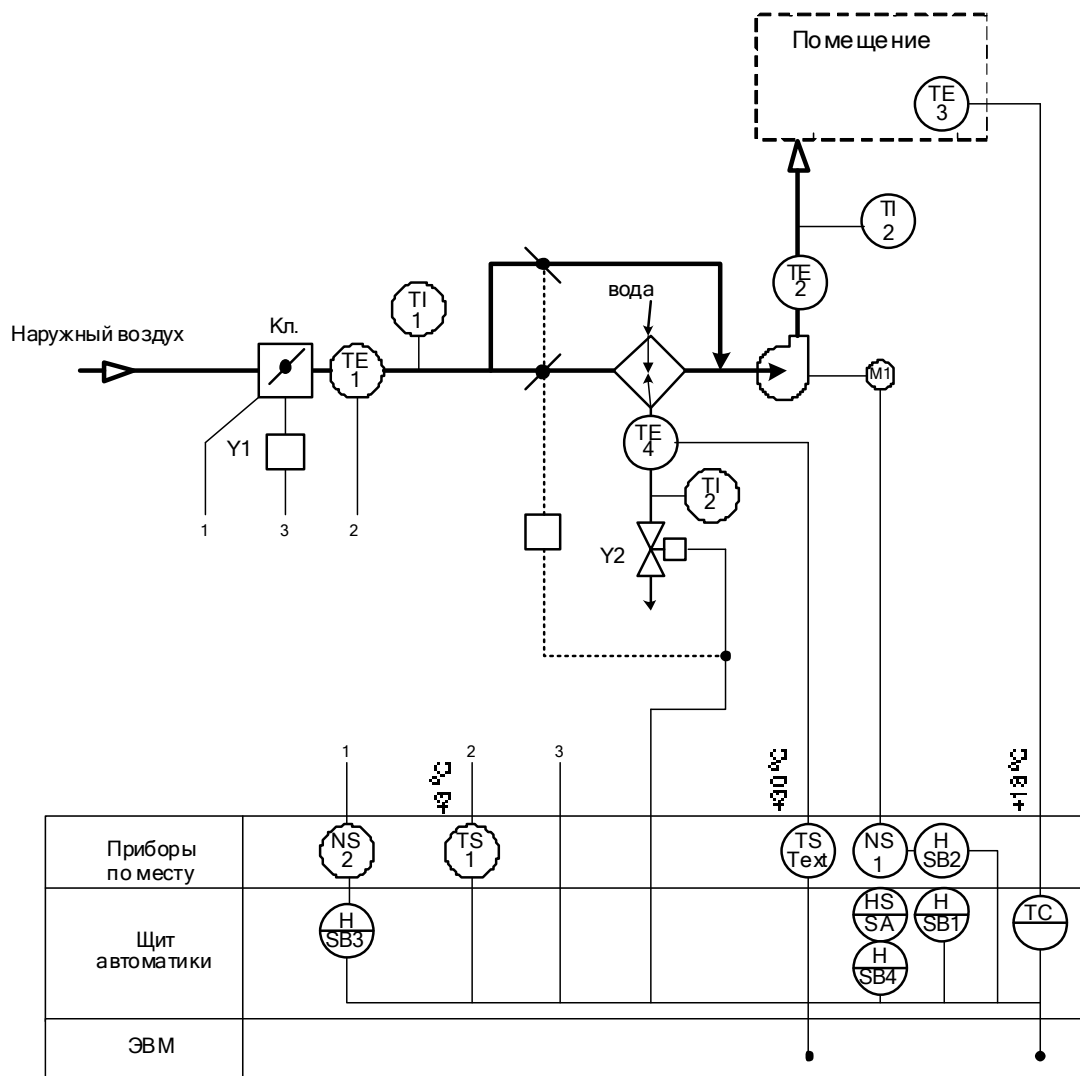
Кроме основных подсистем дистанционного управления, блокировки и автоматического регулирования температуры воздуха, обеспечивающих надлежащий санитарно-гигиенический эффект, для функционирования приточных вентиляционных систем (ПВС) необходимо располагать дополнительными средствами автоматизации.

В некоторых ПВС при низких температурах наружного воздуха и относительно малом расходе (или низкой температуре) теплоносителя может возникнуть угроза замерзания воды в воздухоподогревателе. Чтобы этого не происходило, предусматривают технологическую защиту, которая осуществляется автоматическим воздействием на прогрев воздухоподогревателя, выключением вентилятора, включением электрического отопления приемного воздушного клапана и т.д. В защите нет необходимости, если температура смеси наружного и рециркуляционного воздуха во всем диапазоне положительна.

На рис. 4.29 представлена схема автоматизации приточной вентиляционной установки с подогревом воздуха.

В состав системы автоматизации входят местное и дистанционное управление электрооборудованием с помощью переключателя *SA* и кнопочных станций *SB1.SB4*. Требуемая температура воздуха в помещении поддерживается с помощью регулятора температуры *ТС*, датчик которого *TE(3)* размещается в помещении или в воздуховоде после вентилятора *TE(2)*. Регулятор управляет исполнительным механизмом *У2* клапана на обратной линии теплоснабжения воздухоподогревателя (в данной схеме теплоносителем является вода). Для технологической защиты воздухоподогревателя от замерзания в схему включен позиционный регулятор температуры *ТС*, один датчик которого *TE(4)* установлен в теплопроводе после воздухоподогревателя, а второй *TE(1)* - в воздухопроводе перед ним. Когда температура воды понизится до  $30^{\circ}\text{C}$ , а наружного воздуха будет ниже  $3^{\circ}\text{C}$ , регулятор *ТС*

отключит вентилятор и закроет приемный утепленный клапан *Кл.* Кнопочная станция *SB3* и магнитный пускатель *NS(2)* служат для управления электрообогревателем утепленного клапана в случае эксплуатации при температурах ниже пределов, предусмотренных основной схемой.



**Рис. 4.29 – Автоматизация приточной вентиляционной системы**

В зависимости от сочетания динамических параметров объекта и приточной вентиляции в схемах регулирования могут применяться П-, И-, и ПИ-регуляторы непрерывного действия, а также (И, П, ПИ) и дискретного действия (позиционные и импульсные). Во многих схемах автоматизации ПВС используются импульсные преобразователи, например ступенчатые (СИП), позволяющие значительно уменьшить перерегулирование в переходных

процессах. С целью повышения экономичности применяют совокупный способ изменения тепловой производительности воздухоподогревателя.

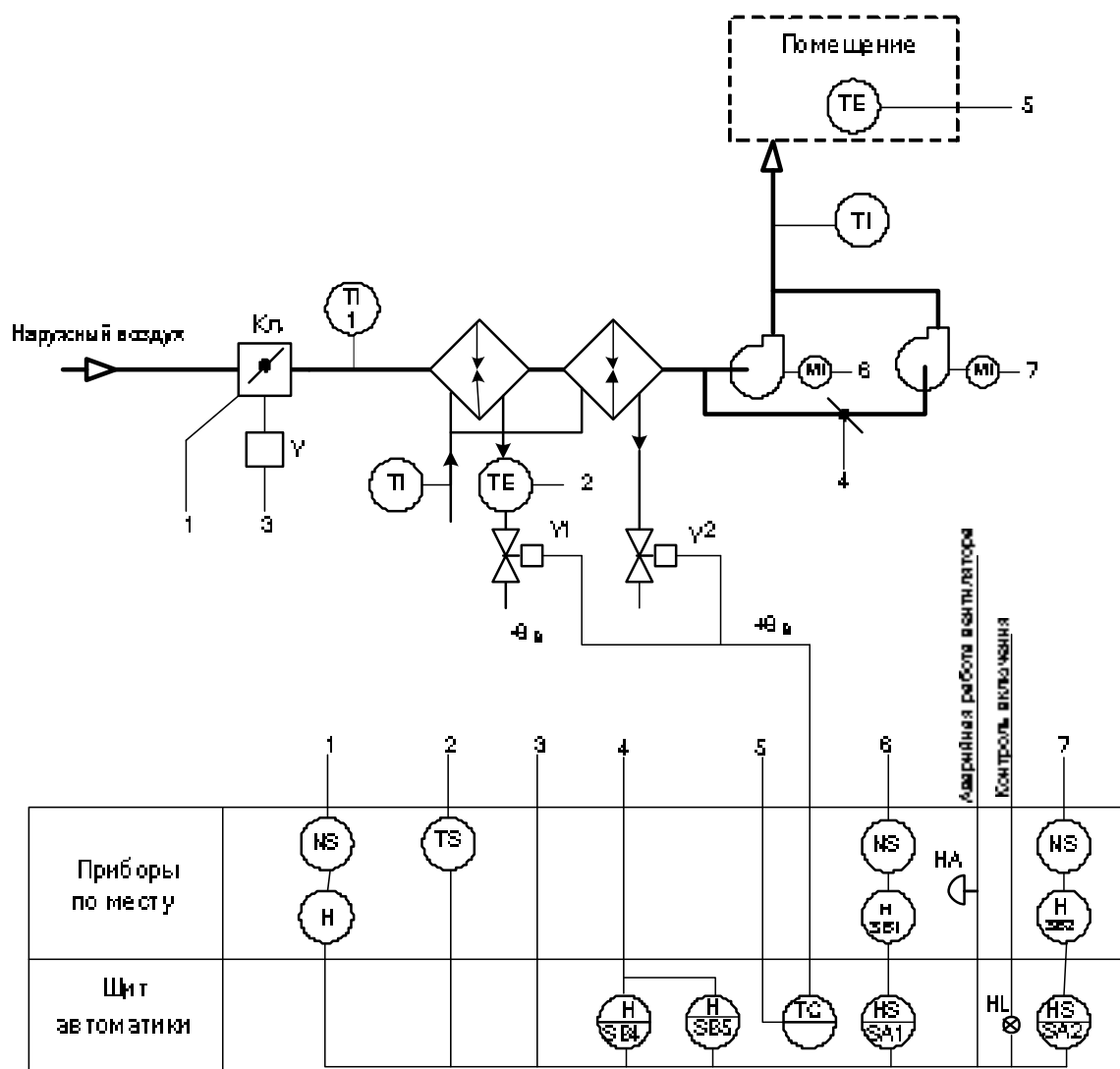
#### **4.4.4. Автоматизация воздушного отопления и воздушных завес**

При автоматизации систем *воздушного отопления* (ВО) используются схемы, которые практически не отличаются от схем автоматизации приточных вентиляционных систем. Используются системы ВО в основном для производственных помещений в качестве систем дежурного отопления, что позволяет в нерабочее время поддерживать минимальную температуру в помещениях, а также быстрый выход на требуемый температурный режим при начале работ.

Особенность технологической схемы ВО заключается в наличии группы воздухоподогревателей (калориферов), управление теплоотдачей которых обычно осуществляется последовательно, начиная с последнего по ходу воздуха при повышении температуры внутреннего воздуха или с первого - при необходимости ее понижении.

В большинстве производственных помещений наряду с электрическими устанавливаются автономные отопительно-вентиляционные агрегаты, соединяемые в группы по виду теплоносителя (вода, пар). При этом необходимым условием при автоматизации является автоматический пуск резервного вентилятора в случае аварии с одновременной световой и звуковой сигнализацией.

Пример схемы автоматизации системы ВО приведен на рис. 4.30.



**Рис. 4.30 – Схема автоматизации системы воздушного отопления**

Автоматическое регулирование температуры воздуха в помещении осуществляется позиционным управлением электродвигателями вентиляторов М1 и М2 с одновременным воздействием электромагнитных клапанов Y1 и Y2, устанавливаемых на линии теплоносителя – паре. В случае применения в качестве теплоносителя воды, управление осуществляется только включением вентиляторов. При использовании же электрокалориферов применяют подключение различного количества секций одинаковой мощности, которые работают по сигналу электрических или электронных терморегуляторов, настраиваемых на различные диапазоны температуры воздуха в помещении.

Воздушные завесы (ВЗ) применяются для производственных и общественных помещений с целью предотвращения проникновения наружного холодного воздуха.

По принципу действия воздушные завесы (ВЗ) не отличаются от простейших систем приточной вентиляции с подогревом воздуха, но они должны обеспечивать определенное взаимодействие устройств, входящих в их составе (ворота, приточная установка), а также транспортных средств и людей.

Пример автоматизации воздушных завес представлен на рис. 4.31.

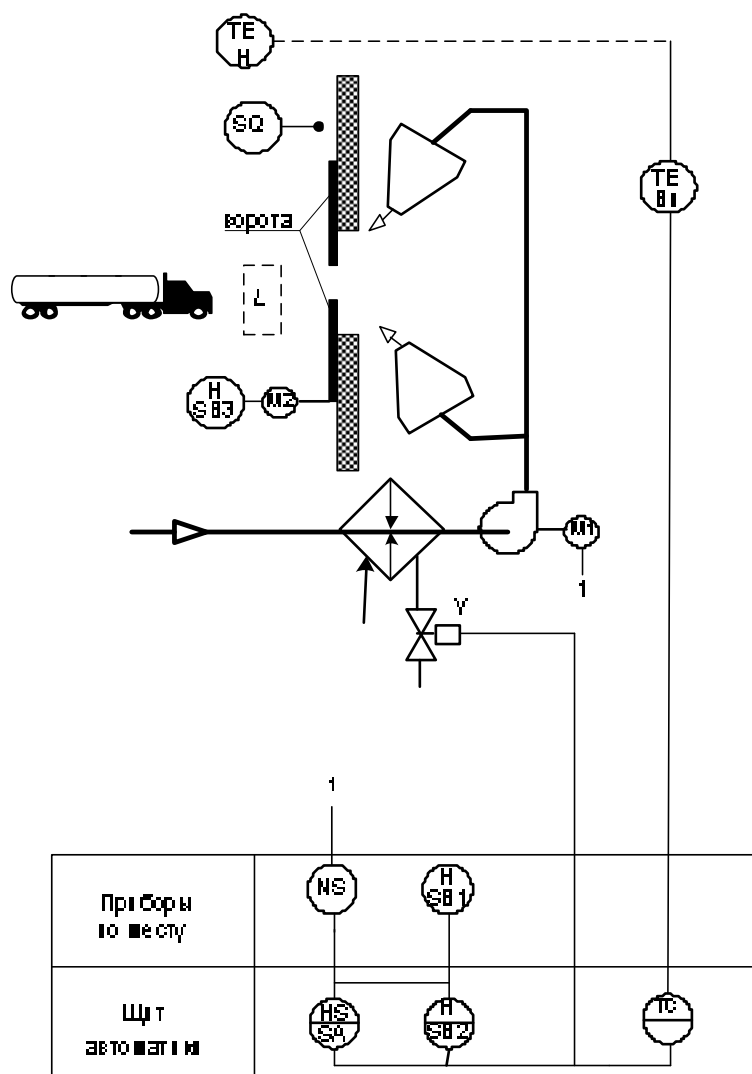


Рис. 4.31 – Функциональная схема автоматизации воздушных завес

Действие системы начинается с дистанционного управления приводом ворот *M1*, на который можно воздействовать вручную с помощью кнопочной станции *SB3* или автоматически, когда транспорт (автомобиль) попадает в зону



действия датчика, например индукционного,  $L$ . Металлические детали машины обуславливают формирование импульса, который управляет механизмом привода ворот. Пуск и останов завесы производится при открывании и закрывании ворот с помощью концевого выключателя  $SQ$ . В зависимости от температуры воздуха в помещении изменяется теплоотдача воздухонагревателя: регулятор  $ТС$  воздействует на исполнительный механизм клапана  $Y$ , увеличивая или уменьшая расход теплоносителя. При закрытых воротах завеса может включаться при падении температуры воздуха в помещении ниже установленной. С отключением электродвигателя вентилятора автоматически закрывается сблокированный с ним соленоидный клапан  $Y$ , сокращая подачу теплоносителя. Однако практика эксплуатации ВЗ показывает недостаточную эффективность такой блокировки. Ручное управление осуществляется кнопками  $SB1$  и  $SB2$ . Одним из эффективных вариантов автоматизации ВЗ является автоматическое управление по температуре наружного воздуха по сигналу от датчика температуры  $TE_H$ . В некоторых схемах автоматизации может использоваться импульс по перепаду давлений внутри и снаружи здания, который формируется при открытых воротах, однако такие системы при реализации довольно сложны в силу небольшой величины перепада давления.

#### **4.5. Автоматизация установок искусственного климата**

Установки искусственного климата (УИК) предназначены для обеспечения требуемого воздухообмена при заданных температуре, влажности, подвижности, запыленности. На средства автоматизации УИК выпадает значительно большая нагрузка по сравнению с вентиляционными установками, хотя основные принципы автоматизации последних используются в УИК.

В состав УИК входят система кондиционирования воздуха или кондиционер, где происходит технологическая обработка паровоздушной смеси, холодильная машина или другой источник холода, а также вспомогательное оборудование; насосы, подогреватели, градирни, сборные емкости и т.д.

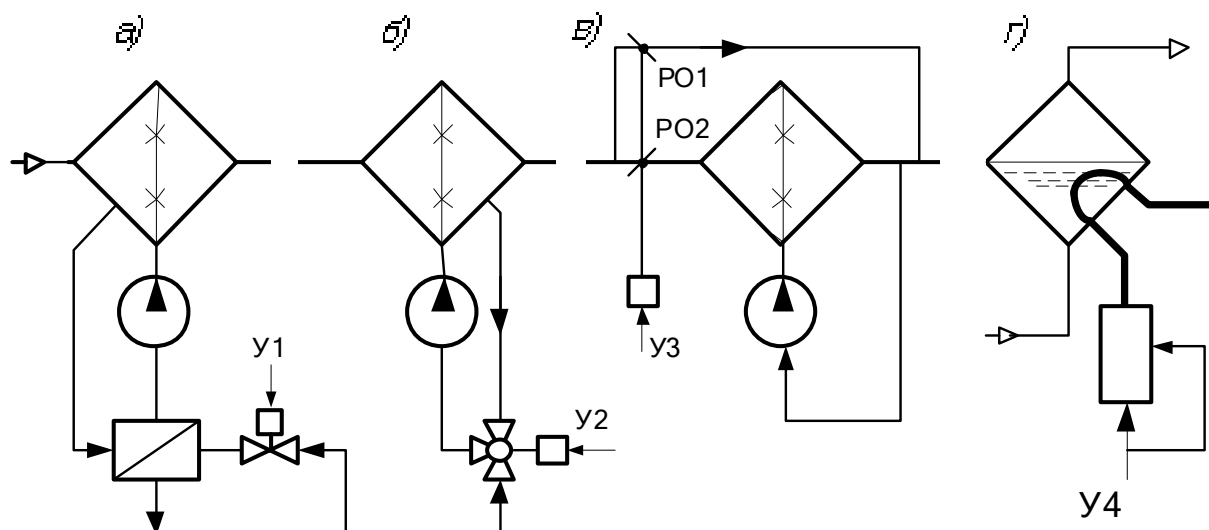
Задачей оптимального управления УИК является обеспечение взаимосвязанной работы указанных элементов, что довольно сложно. На практике чаще встречается раздельное управление СКВ, холодильными машинами и прочим оборудованием.

Схемы и принципы автоматизации УИК зависят от технологической схемы и других признаков, по которым классифицируют УИК: по взаимному расположению объекта и СКВ, по давлению в системе, по схеме обработки воздуха, по продолжительности функционирования, по точности, по назначению и т.д.

#### **4.5.1. Способы регулирования влажности в СКВ**

Различают два основных принципа регулирования влажности - прямой и косвенный. Их использование зависит от характера влаговыделений в объекте регулирования. При неизвестной зависимости изменения влаговыделений датчик регулятора должен быть установлен в помещении для измерения относительной влажности. В этом случае реализуется принцип прямого регулирования влажности. Принцип же косвенного регулирования влажности используется при малых влаговыделениях в помещениях, а также при известной закономерности их появления. В этом случае измеряется не относительная влажность, а точка росы, определяемая после камеры увлажнения или вентилятора. В настоящее время этот принцип наиболее распространение, хотя при этом точность поддержания относительной влажности в помещении по сравнению с прямым регулированием снижается.

Изменение влажности по любому из сигналов (относительной влажности или точки росы) осуществляется рядом способов, отдельные из которых показаны на рис. 4.32.



**Рис. 4.32 – Схемы регулирования влажности в СКВ**

По схеме на рис. 4.32-а вода в камеру увлажнения поступает из подогревателя, степень нагрева регулируется изменением расхода первичного теплоносителя  $U1$ . На схеме 4.32-б управляющее воздействие  $U2$  приложено к смесительному клапану холодной и обратной, воды. Управление смешением сухого и увлажненного воздуха осуществляется по схеме 4.32-в, причем возможны два варианта: под воздействием  $U3$  исполнительное устройство приводит в действие одну заслонку  $P01$  или спаренные заслонки  $P01$  и  $P02$ , изменяющие соотношение расходов воздуха. Паровой увлажнитель, показанный на схеме 4.32-г функционирует по принципу барботажа (прохождения воздуха через жидкость), а воздействие  $U4$  приложено к электрической схеме электроподогревателя, изменяющего точку росы воздуха.

В летнее время целесообразно для снижения расхода холода переводить СКВ на режим работы с рециркуляцией, для чего используются регуляторы энтальпии воздуха. Автомат интегрирует импульсы от двух электрических датчиков - влажности воздуха и температуры, включенных в два перекрестно-сдвоенных моста переменного тока.

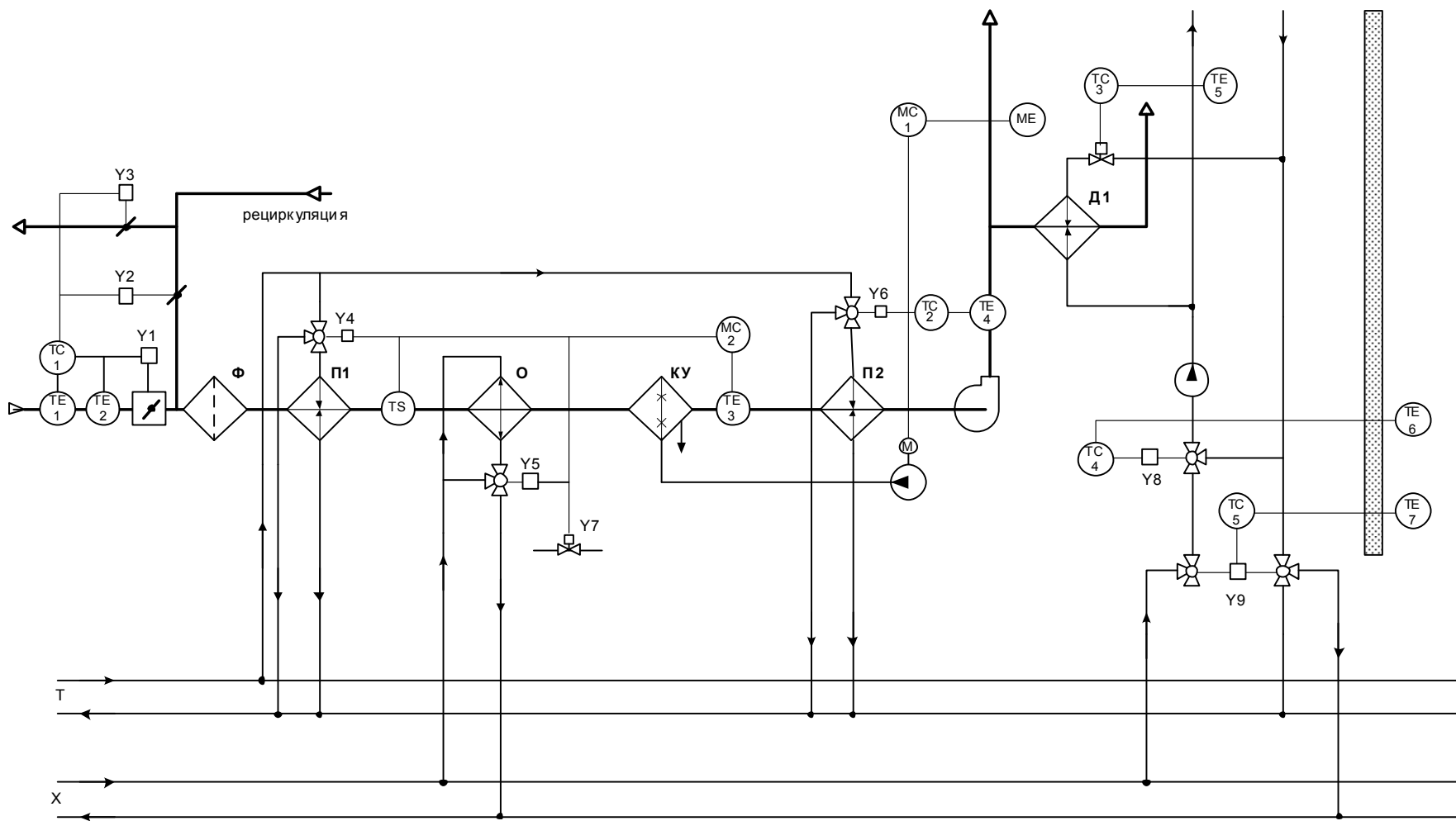
#### 4.5.2. Автоматизация централизованных СКВ

Схемы автоматизации установок кондиционирования воздуха могут быть различной сложности и насыщенности техническими средствами в зависимости от их устройства и алгоритмов функционирования. При этом большое значение имеет правильная организация работы отдельных узлов СКВ.

Рассмотрим общий подход при автоматизации СКВ с неавтономными доводчиками, который схематически показан на рис. 4.33.

Датчик  $TE(1)$  регулятора  $ТС(1)$  в зависимости от температуры наружного воздуха летом закрывает при высокой температуре заслонки  $Y1$  и  $Y3$ , открывая спаренную с ними  $Y2$ . Аналогичным образом действует другой датчик  $TE(2)$  при низких зимних температурах

В схеме предусмотрено косвенное регулирование влажности по точке росы датчиком  $TE(3)$ , который воздействует на клапан  $Y5$  поверхностного охладителя  $O$  и  $Y4$  подогревателя  $П1$ . При непосредственном охлаждении, когда функцию охладителя выполняет испаритель холодильной машины, вместо воздействия на  $Y5$  предусмотрено воздействие на терморегулирующий клапан  $Y7$  холодильной машины. Если регулируется относительная влажность воздуха в помещении, то на камеру увлажнения воздействуют по одной из схем (см. рис. 4.32), а при переходе за верхний предел влажности ( $\varphi_{max}$ ) ограничитель  $МС(1)$  выключает насос  $H$ . Термостат  $ТС(2)$  обеспечивает постоянную температуру приточного воздуха (15-18 °С) воздействием на клапан  $Y6$  подогревателя  $П2$ .  $TS$ - защита подогревателя  $П1$  от замерзания теплоносителя. Воздух расчетной температуры поступает в доводчики  $Д1...ДN$ , присоединенные к магистралям тепло- и хладоносителя  $T$  и  $X$ , которые переключаются на зимний и летний режимы регулятором  $ТС(5)$ . Температура теплоносителя поддерживается регулятором  $ТС(4)$  в зависимости от температуры наружного воздуха. В помещениях может быть



**Рис. 4.33 – Схема автоматизации централизованной СКВ**

установлен комнатный индивидуальный терморегулятор ТС(3), изменяющий тепло- и холодоотдачу теплообменника доводчика.

Регуляторы могут быть электрическими или пневматическими, во втором случае предусматривается прокладка магистрали сжатого воздуха.

Агрегатные неавтономные кондиционеры, например типа КНУ, представляют секционные шкафные установки, в которых производится смешение наружного и рециркуляционного воздуха, очистка, нагрев и увлажнение зимой и охлаждение летом с нагревом до требуемых параметров. Кондиционеры КНУ оборудуются пневмоавтоматикой, воздухоохлаждающие агрегаты типа ВА электроавтоматикой.

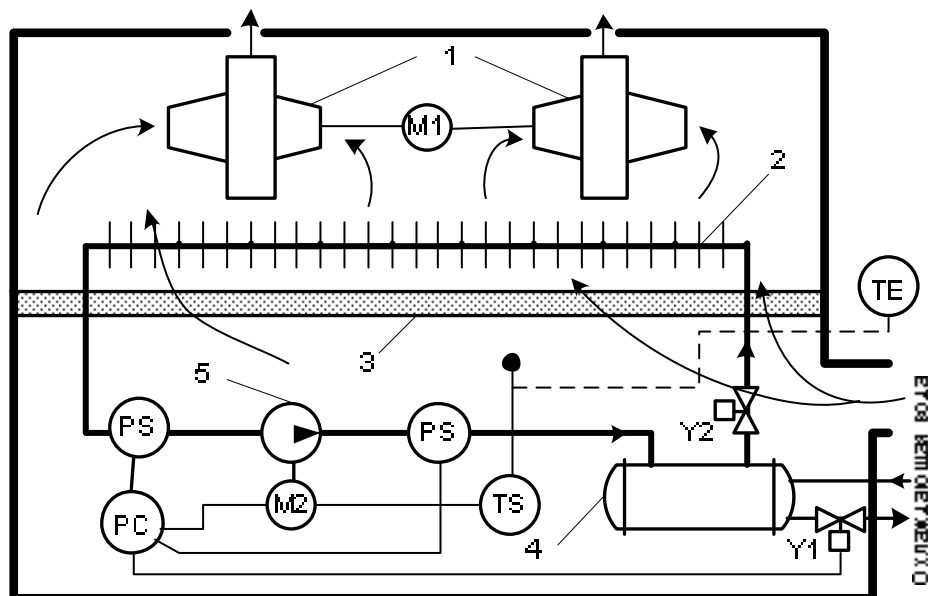
При управлении СКВ по методу оптимальных режимов в настоящее время применяются 13, из них 1- 8 не требуют искусственного охлаждения, а для 9 - 13 оно необходимо. При этом используются пять исполнительных механизмов, которые управляют первой рециркуляцией, обводом камеры увлажнения, первым и вторым подогревом и подачей хладагителя в камеру увлажнения, для чего составлен оптимальный алгоритм, увязывающий их взаимодействие. Датчики температуры и относительной влажности устанавливаются непосредственно в помещениях.

#### **4.5.3. Автоматизация автономных кондиционеров**

Технологические функции автономного кондиционера ограничены охлаждением (нагревом) воздуха с частичной очисткой от пыли и, реже, увлажнением пароувлажнителями подогревного типа или форсуночными. Главным агрегатом является холодильная машина с конденсатором, охлаждаемым водой или воздухом.

В схеме автоматизации распространенных кондиционеров типа КВ и КС предусматривается управление вентилятором, регулирование температуры в помещении и давления (разряжения) в цикле холодильной машины. Кондиционеры КС имеют воздухоподогреватель и следующие режимы работы:

вентилятор - компрессор (охлаждение); вентилятор - подогреватель (нагрев). Причем в каждом режиме температура воздуха поддерживается автоматически. На рис. 4.34 показана схема автоматизации кондиционера КА-6А, работающего в режиме охлаждения.



**Рис.4.34 – Схема автоматизации автономного кондиционера**

Шкафовая установка разделена фильтром 3 на два отсека. Верхний - технологический с воздухоохладителем-испарителем 2 и двумя вентиляторами двустороннего всасывания 1, включенными в общую схему управления. При пуске компрессора включаются вентиляторы. В нижнем отсеке располагаются компрессор 5, конденсатор 4, хладоновый регулирующий клапан Y2, магистрали охлаждения конденсатора с автоматическим клапаном Y1, поддерживающим температуру конденсации по сигналу давления хладагента. Алгоритм функционирования терморегулятора TS - двухпозиционный, датчик TE включен в цепь управления электродвигателя компрессора и выключает его по достижении заданной температуры воздуха. Регулятор PC поддерживает заданную разность давления в холодильном цикле, т.е. холодильную нагрузку, а также отключением компрессора. Датчики TE температуры устанавливаются в помещении или в воздухоприемнике кондиционера.

## С п и с о к л и т е р а т у р ы

1. *Автоматические* приборы, регуляторы и вычислительные системы. Справочное пособие. Под ред. Кашарского Б.Д. - Л.: Машиностроение, 1976.- 488 с.
2. *Государственная* система промышленных приборов и средств автоматизации (ГСП). Под ред. Кавалерова Г.И. - М.: ЦНИИТЭИ, 1981.-392 с.
3. *Орнатский П.П.* Автоматические измерения и приборы: Учебник для вузов. – К.: Вища шк., 1980. – 560 с.
4. *Правила* измерения расхода газов и жидкостей стандартными сужающими устройствами РД 50-213-80. - М.: Изд-во стандартов, 1982.-320 с.
5. *Промышленные* приборы и средства автоматизации: Справочник / Под ред. Черенкова В.В. - Л.: Машиностроение, 1987. – 847 с.
6. *Справочник* проектировщика АСУ ТП. Под ред. Смилянского Г.Л. - М.: Машиностроение, 1983. – 527 с.
7. *Нубарян С.М.* Контрольно-измерительные приборы в теплотехнических измерениях. Курс лекций. – Харьков: ХНАГХ, 2006 – 283 с.
8. *Нубарян С.М.* Основы автоматического управления. Курс лекций. Харьков. – Харьков: ХГАГХ, 2003 – 136 с.
9. *Давыдов Ю.С., Нефелов С.В.* Новые системы автоматизации отопительных устройств. – М.: Стройиздат, 1980 – 261 с.
10. *Нефелов С.В., Давыдов Ю.С.* Техника автоматического регулирования в системах вентиляции и кондиционирования воздуха. – М.: Стройиздат, 1984 – 328 с.
11. *Драчнев В.Г.* Диспетчеризация городских систем газоснабжения.- Л.: Недра, 1982 – 198 с.



<u>Содержание</u>	<u>стр</u>
Введение	3
1. Общие сведения об автоматизации объектов	6
1.1. Классификация систем автоматизации	6
1.2. Системы ТГВ как объекты автоматизации	9
1.3. Постановка задач автоматизации	11
2. Технические средства автоматизации	15
2.1. Усилительно-преобразующие устройства	15
2.1.1. Гидравлические усилители	16
2.1.2. Пневматические усилители	19
2.1.3. Электрические усилители и реле	20
2.1.4. Электронные усилители	23
2.2. Исполнительные устройства	26
2.2.1. Гидравлические и пневматические исполнительные устройства	27
2.2.2. Электрические исполнительные устройства	29
2.3. Регулирующие органы	32
2.3.1. Характеристики распределительных органов	33
2.3.2. Основные типы распределительных органов	34
2.4. Задающие устройства	39
2.5. Использование вычислительной техники при автоматизации	41
3. Основные положения теории автоматического управления	44
3.1. Понятия и определения теории автоматического управления	44
3.2. Классификация и принципы работы систем регулирования	48
3.3. Свойства объектов регулирования. Качество регулирования	53
3.4. Автоматические регуляторы. Типовые законы регулирования	63
4. Автоматизация в системах теплогазоснабжения и вентиляции	68
4.1. Основы проектирования схем автоматизации	68
4.2. Автоматизация систем теплоснабжения	76
4.2.1. Автоматизируемые параметры в системах теплоснабжения	80
4.2.2. Принципы и схемы автоматизации систем отопления	82

4.2.3. Автоматизация водяных систем отопления	84
4.2.4. Автоматизация систем горячего водоснабжения	96
4.2.5. Автоматизация насосных установок	99
4.3. Автоматизация систем газоснабжения и газопотребления	102
4.3.1. Основные требования к автоматизации систем газоснабжения	103
4.3.2. Регулирование давления и расхода газа	105
4.3.3. Автоматизация газоиспользующих установок	117
4.3.4. Автоматизация при работе со сжиженными газами	122
4.4. Автоматизация систем вентиляции	125
4.4.1. Автоматизация вытяжных вентиляционных систем	125
4.4.2. Регулирование температуры воздуха в системах вентиляции	129
4.4.3. Автоматизация приточных вентиляционных систем	132
4.4.4. Автоматизация воздушного отопления и воздушных завес	134
4.5. Автоматизация установок искусственного климата	137
4.5.1. Способы регулирования влажности в СКВ	138
4.5.2. Автоматизация централизованных СКВ	140
4.5.3. Автоматизация автономных кондиционеров	142
Список литературы	144

Учебное издание

Автоматизация систем теплогазоснабжения и вентиляции. Краткий курс лекций  
для студентов спец. 7.092108 - «Теплогазоснабжение и вентиляция».

Составитель: Нубарян Сергей Манукович

Редактор: Н.З. Алябьев

План 2007, поз. 68М

Подп. к печати 15.10.07	Формат 60x84 1/16.	Бумага офисная
Печать на ризографе.	Условн. печ. л. 6,3.	Уч – изд. л. 6,8
Тираж 100 экз.	Зак. №	

61002, г. Харьков, ХНАГХ, ул. Революции, д.12

Сектор оперативной полиграфии ИВЦ ХНАГХ

61002, г. Харьков, ул. Революции, 12